

**GESTIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES EN LA EMPRESA HARINERA DEL
VALLE S.A.**

JHON JAIRO BECERRA CORRALES

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2011**

**GESTIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES EN LA EMPRESA HARINERA DEL
VALLE S.A.**

JHON JAIRO BECERRA CORRALES

**Proyecto de Grado para optar el título de
Ingeniero Electricista**

**Directora
ROSAURA DEL PILAR CASTRILLÓN
Ingeniera Eléctrica**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2011**

Nota de aceptación:

**Aprobado por el Comité de Grado
en cumplimiento de los requisitos
exigidos por la Universidad
Autónoma de Occidente para
optar el título de Ingeniero
Electricista.**

Ingeniero Gabriel González

Jurado

Ingeniero Paul Andrés Manrique

Jurado

Santiago de Cali, Mayo de 2011

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo General	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2. ACTUALIDAD EN GESTIÓN DE MOTORES	17
2.1 GESTIÓN ACTUAL DE MOTORES EN HARINERA DEL VALLE	18
2.1.1 Motores eléctricos en Harinera del Valle	19
2.1.1.1 Carga instalada de motores en KW de Harinera del Valle	19
2.1.1.2 Cantidad Motores Instalados en Harinera del Valle	20
2.1.1.3 Descripción de Equipos por tipo de función	21
2.1.1.4 Servicios comunes para toda la planta	22
2.1.1.5 Resumen Gestión de Motores en Harinera del Valle	26
2.2 DESCRIPCIÓN PROCESO FABRICACIÓN PASTAS EMPRESA HARINERA DEL VALLE Y SUS MOTORES ELÉCTRICOS	27
2.2.1 Elaboracion de pastas alimenticias en la Empresa Harinera del Valle S.A.	28

3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE GESTIO DE MOTORES EN HARINERA DEL VALLE	29
3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO EN HARINERA DEL VALLE	30
3.1.1 Mantenimiento preventivo en Harinera del Valles	30
3.1.2 Mantenimiento predictivo Harinera del Valle S.A.	32
3.1.3 Mantenimiento Correctivo a Motores Eléctricos	33
4. RECOMENDACIÓN Y NORMALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS NECESARIOS PARA HACER SEGUIMIENTO Y GESTIÓN ENERGÉTICA A LOS MOTORES DE LA PLANTA	35
4.1 SELECCIÓN CORRECTA DE LA POTENCIA DEL MOTOR	35
4.2 MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA INSTALACIÓN	36
4.2.1 Mantener los niveles de tensión cercana al valor nominal	36
4.2.2 Minimizar el desequilibrio de tensiones	41
4.2.3 Minimizar la distorsión armónica presente en la red	41
4.2.3.1 Distorsión armónica total (HD) en tensión	42
4.3 CARGAS MECÁNICAS ACOPLADAS AL MOTOR	43
4.3.1 Bombas y ventiladores	44
4.3.2 Eficiencia energética en las transmisiones mecánicas	45
4.4 USAR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA	46
4.4.1 Ventajas de los motores de alta eficiencia	46
4.4.2 Limitaciones de los motores de alta eficiencia	46
4.4.3 Recomendaciones para la aplicación de motores de alta eficiencia	47

4.5 SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA VARIABLES DE VELOCIDAD Y TENSIÓN	48
4.5.1 Arrancadores suaves	48
4.5.2 Variadores electrónicos de velocidad	49
5. ELABORAR LAS MEDIDAS Y PROCEDIMIENTOS QUE PERMITAN REDUCIR LA DEMANDA DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, EN LA CARGA ACTUAL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE LA EMPRESA	50
5.1 FACTOR DE POTENCIA	50
5.2 COMPENSACIÓN FIJA EN MOTORES	52
5.2.1 Regulación de las protecciones	53
5.2.2 Compensación de motores con arrancador	53
5.3 LA AUTOEXCITACIÓN DE LOS MOTORES	54
5.3.1 El fenómeno de la autoexcitación	54
5.3.2 Cómo evitar la autoexcitación	54
5.4 COMPENSACIÓN FIJA ACCIONADA POR CONTACTOR	55
5.4.1 Conexiones	55
5.4.2 Cálculo de la potencia a instalar	55
5.4.2.1 Elección del contactor adecuado	56
5.4.2.2 Contactor diseñado para el mando de condensadores	56
5.5 SIGNIFICADO TÉCNICO-ECONÓMICO	57
6. ESTIMACIÓN DE POTENCIALES DE AHORRO EN MOTORES ELÉCTRICOS DE HARINERA DEL VALLE	57
6.1 MEDICIONES ELÉCTRICAS EN LOS MOTORES DE HARINERA DEL VALLE	58
6.1.1 Mediciones realizadas en motores línea 1 de producción pastas	58

6.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR POTENCIALES DE AHORRO EN LOS MOTORES DE HARINERA DEL VALLE	64
6.2.1 Cálculo de ahorro por sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia	64
6.2.2 Potencial de ahorro por evaluación del factor de carga	67
6.2.3 Ahorro de energía con implementación de variador de velocidad	70
6.2.4 Estimación de la eficiencia en el sitio de operación y la relación con los potenciales de ahorro energético del motor	73
6.2.4.1 Evaluar la eficiencia de los motores eléctricos en sitio	73
7. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA REALIZAR GESTION EFICIENTE DE MOTORES EN HARINERA DEL VALLE	79
7.1 FORMATOS PROPUESTOS PARA REALIZAR LA GESTIÓN EFICIENTE EN LOS MOTORES DE HARINERA DEL VALLE	82
7.2 ASPECTOS PARA UN MANTENIMIENTO CON GESTIÓN EFICIENTE DE MOTORES ELÉCTRICOS	87
8. DEFINIR Y NORMALIZAR LOS PROCEDIMIENTOS QUE DEBEN SEGUIRSE PARA QUE LOS TALLERES REALICEN UNA CORRECTA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS	90
8.1.1 Limpieza	91
8.1.2 Lubricación	92
8.1.3 El montaje	93
8.2 PROCESO INTERNO (HARINERA DEL VALLE) ENVIO DE MOTORES A REPARACIÓN	94
8.2.1 Recomendaciones para reparación eficiente de motores eléctricos	94
8.2.2 Remplazando los motores en lugar de bobinarlos	98

8.3 PROCESO EXTERNO, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO (TALLER MOTORES ELÉCTRICOS)	99
8.3.1 Reparar y reemplazar	100
9. CONCLUSIONES	103
10. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Carga Instalada de motores en KW de Harinera Del Valle	19
Cuadro 2. Cantidad Motores Instalados en Harinera del Valle	20
Cuadro 3. Cantidad de equipos por descripción en Harinera del Valle	21
Cuadro 4. Equipos Servicios Comunes Fabrica de Pastas	23
Cuadro 5. Cantidad de motores de acuerdo a la potencia en HP	24
Cuadro 6. Efectos típicos de los niveles de tensión sobre las características del motor de inducción	37
Cuadro 7. Tensión y corriente registrados en los puntos, por baja tensión	37
Cuadro 8. Tensión y corriente registrados en los puntos, por alta tensión	38
Cuadro 9. Valores máximos, promedio y mínimos de las variaciones de tensión	39
Cuadro 10. Valores máximo, mínimo y promedio de los desbalances	40
Cuadro 11. Máximos, promedios y mínimos de THD en tensión y corriente	42
Cuadro 12. Armónicos demandantes en tensión y corriente	42
Cuadro 13. Factor de potencia centralizado en cada transformador por baja tensión	51
Cuadro 14. Máxima potencia reactiva a instalar en bornes de un motor trifásico 220/440 V, sin riesgo de autoexcitación	55
Cuadro 15. Contactor diseñado para el mando de condensadores	57
Cuadro 16. Mediciones realizadas en motores línea 1 de producción pastas	59
Cuadro 17. Mediciones realizadas en motores línea 2 de producción pastas	61

Cuadro 18. Cálculo ahorro anual	65
Cuadro 19. Cálculo ahorro energético en el tiempo	66
Cuadro 20. Factor de Carga de los motores	68
Cuadro 21. Procedimiento para determinar la viabilidad de un variador de velocidad	70
Cuadro 22. Relación de consumo y ahorro	71
Cuadro 23. Retorno Inversión	72
Cuadro 24. Valores asumidos para las pérdidas adicionales en la carga	74
Cuadro 25. Cálculo eficiencia real de los motores	76
Cuadro 26. Lista de chequeos motores eléctricos	82
Cuadro 27. Archivo para realizar seguimientos de eficiencia y cargabilidad del motor	83
Cuadro 28. Plan Maestro Eficiencia Motores	84
Cuadro 29. Formato propuesto para seguimiento de reemplazo y/o rebobinado	86
Cuadro 30. Lista de efectos durante el proceso de reparación y rebobinado	96

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Millones de pesos en el año 2010	5
Figura 2. Kilowatios Totales de consumo 2010	19
Figura 3. Carga Instalada en KW	20
Figura 4. Cantidad Motores Instalados	21
Figura 5. Distribución según tipo de equipo	22
Figura 6. Pareto de motores servicios comunes	23
Figura 7. Pareto Potencia de Motores	25
Figura 8. Descripción del proceso de fabricación de pastas	27
Figura 9. Pantallazo SAP Sistema operativo Harinera del Valle	29
Figura 10. Planes de mantenimiento preventivo	31
Figura 11. Aviso de mantenimiento para actividades varias	34
Figura 12. Orden de mantenimiento lista para tratar	34
Figura 13. Puntos de registro del sistema eléctrico de la planta Harinera del Valle	41
Figura 14. Conexión de un condensador a un motor a través de un contactor	56
Figura 15. Rendimiento de un motor y factor de potencia	69
Figura 16. Energía anual requerida	71
Figura 17. Payback	72
Figura 18. Eficiencia Vs Cantidad Motores	77

Figura 19. Estrategia propuesta a Harinera del Valle S.A para la realización de gestión de motores	79
Figura 20. Distribución de las fallas en los motores	94
Figura 21. Flujograma reparación o reemplazo de un motor en falla	102

RESUMEN

Este es un trabajo que se desarrolló con el fin de implementar una metodología para la gestión energética eficiente de motores eléctricos dentro de la empresa Harinera del valle S.A. en conjunto con el grupo de investigación en Energías de la universidad autónoma de occidente (GIEN).

El presente trabajo recopila toda la información necesaria para la implementación de esta metodología, como primera parte se realizan todas las mediciones necesarias en cuanto a consumos en general de toda la planta y con esta se determina el área donde se concentra la implementación del proyecto.

Uno de los objetivos se centró en la gestión de motores que hace la empresa Harinera del valle, en el proceso de fabricación de pastas alimenticias, para ello se recogió toda información que se muestra en los primeros capítulos de este proyecto concernientes a la gestión de motores, después de haber analizado toda esta información se procedió a evaluar el estado de la gestión de motores al interior de la empresa Harinera del valle, posteriormente a este paso, se realizó un plan de mediciones en los motores eléctricos que impactan más en el consumo de energía de la planta (Prensas y servicios comunes), apoyándose en contratistas externos con los equipos necesarios para recoger toda esta información, para efectos de cálculo de la eficiencia con el fin de determinar ahorros potenciales en energía eléctrica en la planta Harinera del valle.

Este trabajo se elaboró teniendo como objetivos: definir procedimientos para la adecuada selección de los motores en lo concerniente a la reposición y adquisición de los mismos; trazar un programa estratégico de sustitución de motores y realizar un análisis económico de las medidas propuestas, como deben ser las reparaciones de los motores bajo recomendaciones directas de la empresa Harinera del valles S.A.

INTRODUCCIÓN

Cada día es más necesario aplicar medidas que conduzcan al ahorro de energía eléctrica en las fábricas, para poder lograr reducciones de costos en la producción, que aumenten la rentabilidad y la competitividad de la empresa.

La eficiencia en el uso de la energía eléctrica, es un elemento importante para la reducción de los costos de producción en la mayor parte de las fábricas. Se pretende disminuir los costos relacionados al consumo energético, para ello es necesario realizar un diagnóstico y caracterización que permita evaluar la situación energética actual, lo anterior aplicado a los motores eléctricos.

En la industria, cerca del 70% de la electricidad es consumida por algún tipo de sistema impulsado por motores, la mayoría de estos emplean motores de inducción. Como resultado de esto, incluso una pequeña mejoría en la eficiencia de los motores de inducción conducirá hacia ahorros de energía y beneficios ambientales significativos.

Este proyecto tiene como finalidad proponer una metodología que permita establecer procedimientos y recursos necesarios para realizar una gestión eficiente de motores en la planta de pastas la Muñeca de la Empresa Harinera Del Valle S.A. Lo anterior teniendo en cuenta aspectos técnicos, culturales, organizacionales y de proceso, que permitan generar en primer instancia una dinámica de trabajo en función de la eficiencia energética.

La propuesta va articulada a los actuales desarrollos obtenidos en el grupo de investigación GIEN, en la implementación de sistemas de gestión SGIE, dicha metodología resulta muy apropiada de aplicar a la parte exclusiva de motores eléctricos en función de los indicadores de consumo de los mismos y la verificación del comportamiento energético.

En este sentido la Gestión Energética de Motores satisface la necesidad de la empresa Harinera del Valle S.A. en cuanto a reducir gastos por consumo de energía eléctrica, de esta manera se reducen los costos de producción y se logra una mayor competitividad. Lo anterior teniendo en cuenta que el 85% del consumo de energía de la planta está asociado a la parte de motores.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

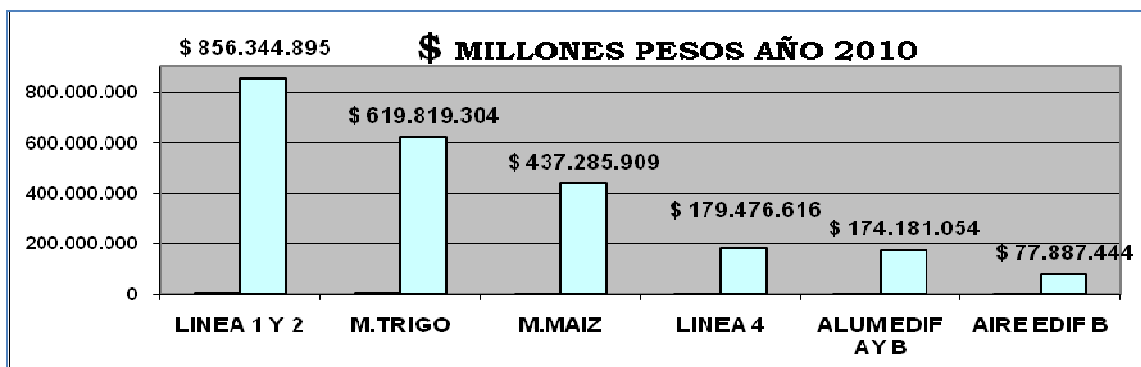
Gracias a la elaboración de nuevos productos, la ampliación de los procesos ya existentes, el aumento en las exportaciones y al incremento general de la demanda, la empresa Harinera del Valle S.A. ha realizado grandes cambios en los últimos años, uno de estos es la adecuación de nuevas líneas de producción de pastas de última tecnología, debido a esto se ha generado un gran incremento en el consumo de la energía eléctrica y los costos por este concepto.

El problema que está presente en Harinera del Valle, es que no existen los datos y procedimientos adecuados para tomar medidas que permitan reducir el consumo de energía, decidir el reemplazo de motores por otros de potencia más adecuada a los requerimientos de la carga, evaluar los efectos de los problemas de calidad de la energía y monitorear y controlar los consumos y demandas de energía eléctrica para la toma de decisiones. Esto adquiere una importancia especial en el caso del área que se plantea, donde hay máquinas altamente consumidoras. Es una empresa netamente consumidora de energía eléctrica, el 75% corresponde a los motores eléctricos.

El problema planteado en este proyecto consiste en proponer una metodología para implementar Gestión Energética de Motores en el área de producción pastas, con el fin de realizar proyectos que reduzcan el consumo de energía eléctrica.

Se ha seleccionado el área de pastas por representar el mayor porcentaje de consumo en la empresa con un 37% del total de la empresa. En la figura 1 se muestra el costo en millones de pesos pagados por energía eléctrica en el 2010.

Figura 1. Millones de pesos en el año 2010



Fuente: El autor, archivo de computador.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General. Proponer una metodología para implementar gestión eficiente de la energía aplicada a motores eléctricos en la planta de pastas de Harinera del Valle S.A.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar el estado actual de la empresa en cuanto al uso eficiente de la energía en los motores eléctricos.
- Estimar los potenciales globales de ahorro por eficiencia en los motores eléctricos
- Definir y normalizar los procedimientos que deben seguirse para que los talleres correspondientes lleven a cabo una correcta reparación y mantenimiento de los motores eléctricos.
- Definir y normalizar los procedimientos necesarios para la toma de decisión de reemplazo de los motores eléctricos y sus accionamientos
- Elaborar las medidas y procedimientos que permitan reducir la demanda de potencia activa y reactiva, en la carga actual de motores eléctricos de la empresa.

2. ACTUALIDAD EN GESTIÓN DE MOTORES

Toda la información disponible sobre mantenimiento de motores es válida para la eficiencia energética de los mismos. La finalidad es: prevenir que el motor falle prematuramente y mantener el equipo a punto para obtener un rendimiento óptimo, los motores bien mantenidos mejoran la eficiencia total de la planta.

Recientemente, se está prestando mayor atención al mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo es la realización de ensayos programados, y análisis de tendencias a lo largo del tiempo. El análisis de los resultados puede predecir fallos que no son detectados a simple vista, las tareas mecánicas como lubricación y limpieza requieren una planificación igualmente las tareas eléctricas. Las vibraciones y ensayos acústicos son tareas mecánicas, la termografía de infrarrojo y los análisis de aceites en transformadores, son tareas eléctricas

Para conseguir un mantenimiento efectivo debe ejecutarse la siguiente estrategia:

Responsables: debe designarse al personal responsable para las actividades de mantenimiento, ingenieros y/o técnicos.

Programación: establecer una programación de mantenimiento es un proceso iterativo. es necesario realizar intervalos frecuentes al principio, luego experimentar con intervalos largos. Algunas actividades pueden ser perjudiciales si se realizan con mucha frecuencia (ej. Ensayos de aislamiento de alta tensión y engrase de rodamiento). Si se observa que ciertos resultados progresan uniformemente, puede establecerse un intervalo más largo. Si los rodamientos van bien en intervalos dados de lubricación, puede experimentarse con intervalos más largos.

Registros: los programas de mantenimiento deben implementarse siempre basándose en registros escritos. Actualmente puede utilizarse un registro en soporte informático. Nuevos productos se están introduciendo, instrumentación especial que conecta eléctricamente y dirige los datos medidos a un archivo de un ordenador.

Análisis: el ensayo y registro puede realizarse utilizando herramientas de software, hojas de cálculo y programas de bases de datos que son útiles para almacenar y manipular datos y especialmente por tendencias gráficas¹.

2.1 GESTIÓN ACTUAL DE MOTORES EN HARINERA DEL VALLE

Los motores eléctricos son los mayores usuarios de energía eléctrica en las plantas industriales y sectores comerciales, estas máquinas son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica, alrededor del 70% del consumo de la energía eléctrica generada se debe al funcionamiento de los motores eléctricos. La Empresa Harinera del Valle no es la excepción, pues en esta el mayor aportante al proceso productivo es la energía, representada en motores eléctricos, se cuenta con un transformador principal de 2.5 mva, la carga de motores instalada de la planta es 2582 kva, como la cargabilidad de los motores no es del 100%, promediando la carga instalada es de 2000 kva, es decir el 80% del consumo real es de motores eléctricos.

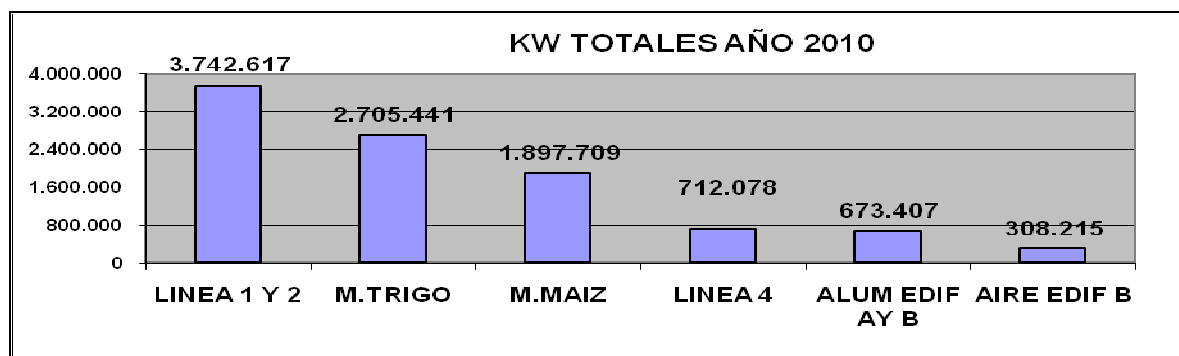
La operación y conservación de los motores en la industria, representa uno de los campos más fértiles de oportunidades en el ahorro de energía, que se traducen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad. El ahorro de energía comienza desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay uno adecuado a las necesidades que se tienen, tanto en lo que respecta a su tipo por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque o regulación de velocidad, así como por su tamaño o potencia. Los mayores ahorros de energía eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su máxima eficiencia. Este es el objetivo principal de este trabajo orientado al ahorro eficiente de energía.

Dentro de Harinera del Valle existen 5 procesos productivos así: Fabrica de pastas con 3 líneas de producción. Línea 1 (pasta larga), Línea 2 (pasta corta) y Línea 4 (corbata). Molino de trigo (Elaboración HEPP o Harina especial para pastas). Molino Maíz (Elaboración harina de maíz). El proceso de mayor consumo son las fábricas de pastas con el 37% de todo el consumo de la planta, esta área es la escogida para la realización final del proyecto.

¹ Mantenimiento efectivo [en línea]. Colombia: Todo productividad, 2009 [consultado enero de 2011]. Disponible en internet: <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/12/eficiencia-energetica-mediante-el.html>.

La figura 2, muestra el consumo global de los procesos productivos tomado directamente de contadores internos de medición, durante el año 2010.

Figura 2. Kilowatios Totales de consumo 2010



Fuente: El autor, archivo de computador.

2.1.1 Motores eléctricos en Harinera del Valle

2.1.1.1 Carga instalada de motores en KW de Harinera del Valle. Total de la carga instalada en motores de toda la planta, por procesos.

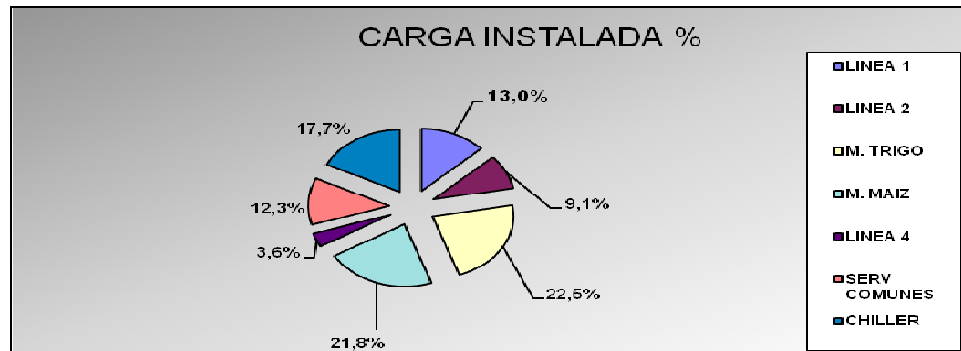
La fábrica de pastas la componen; Línea 1, Línea 2, Línea 4 y Servicios Comunes, en el cuadro 1 y la Figura 3 aparecen discriminados los kilowatios por línea.

Cuadro 1. Carga Instalada de motores en KW de Harinera Del Valle

Proceso	KW	%	Acumulado %	Nombre	%
Línea 1	302,75	13,0%	13,0%	Línea 1	13,0%
Línea 2	211,24	9,1%	22,1%	Línea 2	9,1%
M. Trigo	523,31	22,5%	44,6%	M. Trigo	22,5%
M. Maíz	507,13	21,8%	66,5%	M. Maíz	21,8%
Línea 4	83	3,6%	70,0%	Línea 4	3,6%
Serv comunes	285,2	12,3%	82,3%	Serv comunes	12,3%
Aire acondicionado	411,44	17,7%	100,0%	Chiller	17,7%
	2324,07				100,0%

Fuente: El autor, archivo de computador.

Figura 3. Carga Instalada en KW



Fuente: El autor, archivo de computador.

La mayor demanda de equipos de acuerdo a la potencia, están ubicados en la fábrica de pastas, allí se visualizó la gran demanda y fuente de ahorro energético, para la empresa. Esta potencia total es el 37% del consumo energético de la empresa.

2.1.1.2 Cantidad Motores Instalados en Harinera del Valle. Total de motores instalados en la planta, identificados por procesos productivos. Tabla y grafica, en la fabrica d epastas La cantidad de motores equivale al 48% del total de motores de toda la planta, lo cual nos vuelve de nuevo a concentrar esfuerzos en esta área, sin dejar de un lado las demás aéreas que son igualmente importantes, dentro de la empresa.

La fábrica de pastas la componen; Línea 1, Línea 2, Línea 4 y Servicios Comunes, en el cuadro 2 y la Figura 4 aparecen discriminados por línea.

Cuadro 2. Cantidad Motores Instalados en Harinera del Valle

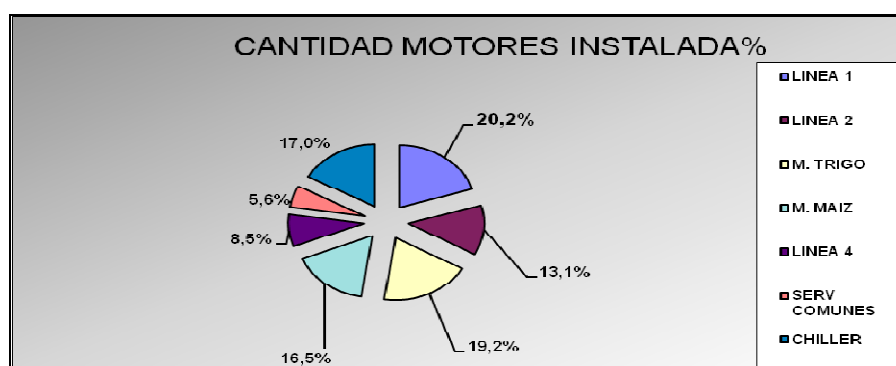
Proceso	Cantidad	%	Acumulado %	Nombre	%
Línea 1	119	20,2%	20,2%	Línea 1	20,2%
Línea 2	77	13,1%	33,3%	Línea 2	13,1%
M. Trigo	113	19,2%	52,5%	M. Trigo	19,2%
M. Maíz	97	16,5%	68,9%	M. Maíz	16,5%
Línea 4	50	8,5%	77,4%	Línea 4	8,5%

Cuadro 2. (Continuación).

Proceso	Cantidad	%	Acumulado %	Nombre	%
Serv comunes	33	5,6%	83,0%	Serv. comunes	5,6%
Aire acondicionado	100	17,0%	100,0%	Chiller	17,0%
	589				100,0%

Fuente: El autor, archivo de computador.

Figura 4. Cantidad Motores Instalados



Fuente: El autor, archivo de computador.

2.1.1.3 Descripción de Equipos por tipo de función. Descripción de los equipos, dependiendo de la función que realizan dentro del proceso, (Ver cuadro 3 y Figura 5), donde se especifica cada equipo.

Se realizó otra identificación, que es de acuerdo a la función del equipo y lo cual da otra visión de equipos más global de la planta, donde el mayor porcentaje de equipos son ventiladores, también indica que allí se deben concentrar mayores esfuerzos, en cuanto a repuestos y mantenimiento o equipos de stock para determinados ventiladores.

Cuadro 3. Cantidad de equipos por descripción en Harinera del Valle

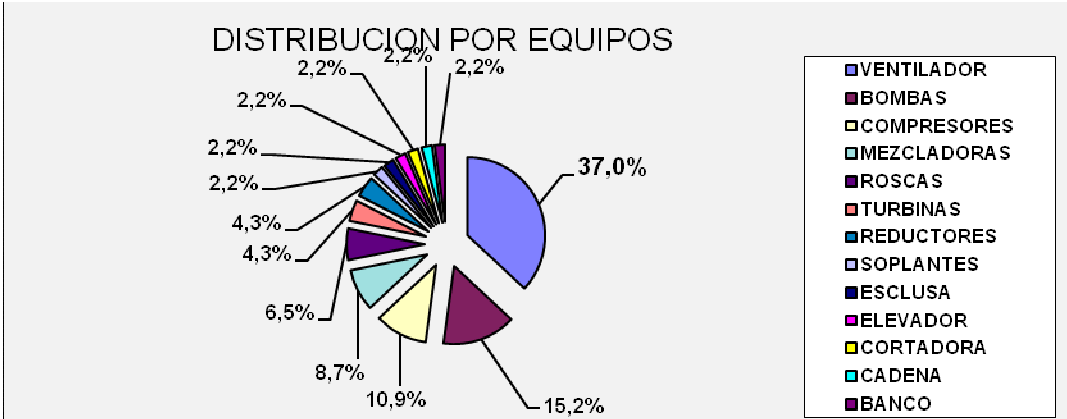
Función	%
Ventilador	37,0%
Bombas	15,2%
Compresores	10,9%

Cuadro 3. (Continuación).

Función	%
Mezcladoras	8,7%
Roscas	6,5%
Turbinas	4,3%
Reductores	4,3%
Soplantes	2,2%
Esclusa	2,2%
Elevador	2,2%
Cortadora	2,2%
Cadena	2,2%
Banco	2,2%

Fuente: El autor, archivo de computador.

Figura 5. Distribución según tipo de equipo



Fuente: El autor, archivo de computador.

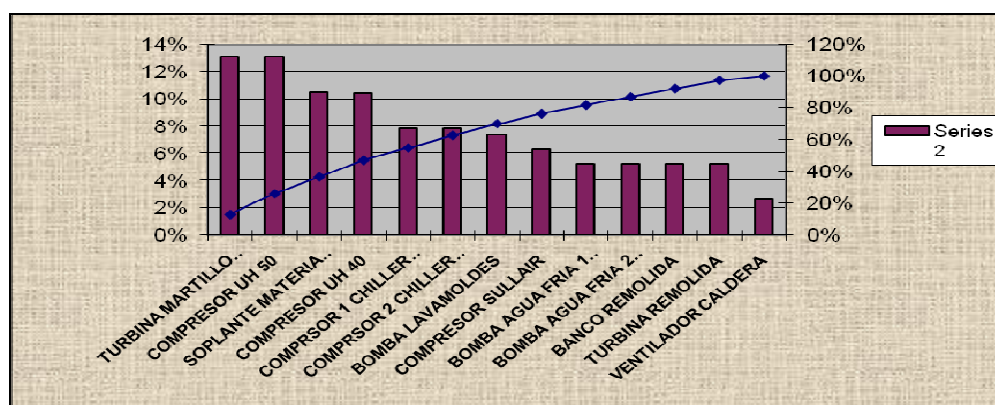
2.1.1.4 Servicios comunes para toda la planta. Los servicios comunes son bien importantes para el proceso productivo, allí se encuentran; compresores aire industrial y aire de instrumentación, bombas de vacío, chiller agua fría, caldera agua caliente, lava moldes y planta remolida, todos estos equipos son de vital importancia para el buen desarrollo de las líneas de producción 1,2 y 4, sin estos no funcionan las líneas, Listados, Cuadro 4 y Figura 6, Pareto para estos equipos.

Cuadro 4. Equipos Servicios Comunes Fabrica de Pastas

Nombre	HP	%	Acumulado%
Turbina martillo remolida	50,0	13%	13%
Compresor uh 50	50,0	13%	26%
Soplante materia prima	40,2	11%	37%
Compresor uh 40	40,0	10%	47%
Compresor 1 chiller pastas	30,0	8%	55%
Compresor 2 chiller pastas	30,0	8%	63%
Bomba lavamoldes	28,2	7%	70%
Compresor sullair	24,0	6%	76%
Bomba agua fría 1 caldera	20,1	5%	82%
Bomba agua fría 2 caldera	20,1	5%	87%
Banco remolida	20,0	5%	92%
Turbina remolida	20,0	5%	97%
Ventilador caldera	10,1	3%	100%
	382,7	100%	

Fuente: El autor, archivo de computador.

Figura 6. Pareto de motores servicios comunes



Fuente: El autor, archivo de computador.

Pareto de motores de la fábrica de pastas ver cuadro 5 y figura 7.

Cuadro 5. Cantidad de motores de acuerdo a la potencia en HP

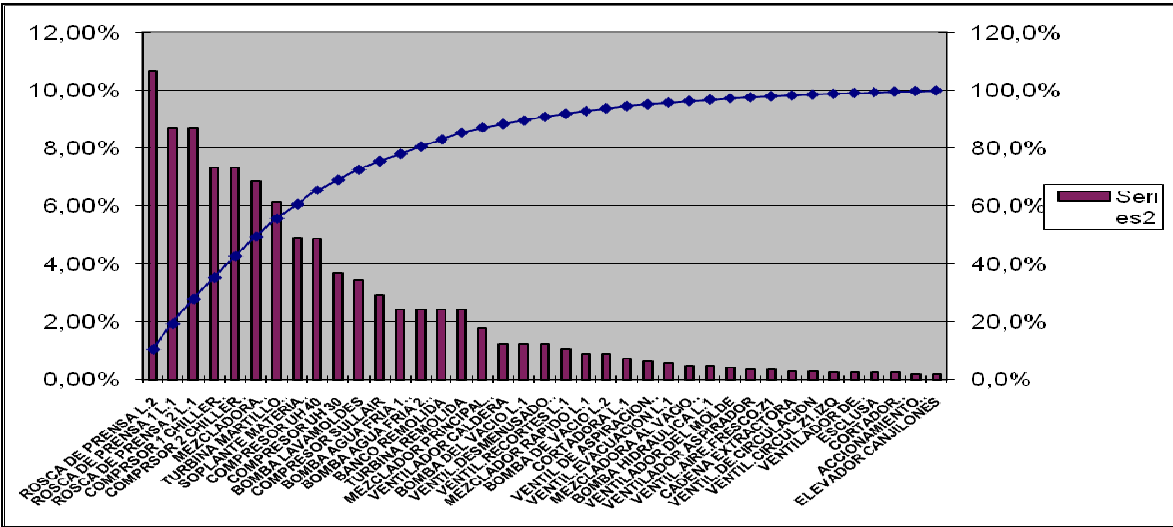
Nombre	HP	%	Acumulado %
Rosca de prensa L.2	87,1	10,67%	10,7%
Rosca de prensa 1 L.1	71,0	8,70%	19,4%
Rosca de prensa 2 L.1	71,0	8,70%	28,1%
Compresor 1 chiller pastas	60,0	7,35%	35,4%
Compresor 2 chiller pastas	60,0	7,35%	42,8%
Mezcladora intensiva L.2	56,30	6,90%	49,7%
Turbina martillo remolida	50,0	6,12%	55,8%
Soplante materia prima	40,2	4,92%	60,7%
Compresor uh 40	40,0	4,90%	65,6%
Compresor uh 30	30,0	3,67%	69,3%
Bomba lavamoldes	28,2	3,45%	72,7%
Compresor sullair	24,0	2,94%	75,7%
Bomba agua fria 1 caldera	20,1	2,46%	78,1%
Bomba agua fria 2 caldera	20,1	2,46%	80,6%
Banco remolida	20,0	2,45%	83,1%
Turbina remolida	20,0	2,45%	85,5%
Mezclador principal L.1	14,7	1,81%	87,3%
Ventilador caldera	10,1	1,24%	88,5%
Bomba del vacíoL.1	10,1	1,23%	89,8%
Ventil.desmenuadorL.1	10,1	1,23%	91,0%
Ventil.recortesL.1	8,8	1,08%	92,1%
Mezclador rápidoL.1	7,4	0,90%	93,0%
Bomba de vacíoL.2	7,37	0,90%	93,9%
Cortadora L.1	6,2	0,76%	94,7%
Ventil de aspiraciónL.1	5,4	0,66%	95,3%
Ventil.evacuaciónL.1	4,8	0,59%	95,9%
Mezcladora al vacíoL.1	4,0	0,49%	96,4%
Bomba hidráulicaL.1	4,02	0,49%	96,9%
Ventilador del molde	3,49	0,43%	97,3%
Ventilador aspirador	2,95	0,36%	97,7%
Ventil.Airefresco Z1	2,9	0,36%	98,0%
Cadena extractora	2,4	0,30%	98,3%

Cuadro 5. (Continuación).

Nombre	HP	%	Acumulado %
Ventil.decirculación	2,3	0,29%	98,6%
Ventil.circul. Z1.izq	2,1	0,26%	98,9%
Ventilador de circulación	2,14	0,26%	99,1%
Esclusa	2,0	0,25%	99,4%
Cortador accionamiento	2,01	0,25%	99,6%
Accionamiento secador	1,5	0,18%	99,8%
Elevador canjilones	1,47	0,18%	100,0%
	816,5		

Fuente: El autor, archivo de computador.

Figura 7. Pareto Potencia de Motores



Fuente: El autor, archivo de computador.

En la gráfica se muestra que el 60% de los motores críticos y de mayor tamaño están entre 40 HP y 87.1 HP, es allí donde hay que concentrar esfuerzos para buscar eficiencia.

2.1.1.5 Resumen Gestión de Motores en Harinera del Valle. En la actualidad la empresa Harinera del Valle, no cuenta con un programa para la gestión eficiente de la energía aplicada a motores eléctricos, los motores actuales son de eficiencia estándar, no hay de alta eficiencia. Allí hay un gran potencial en ahorro.

Los motores más modernos ya cuentan con más de 15 años de funcionamiento y hay equipos con más de 30 años de vida, no existe una política definida para el cambio de los mismos, aunque si se toman determinaciones cuando las reparaciones son más costosas del 50% comparada con el costo del equipo nuevo, cuando es un motor pequeño inmediatamente se pide un motor nuevo, pero no de alta eficiencia. Se mira la parte económica, pero no se tiene en cuenta la vida útil del equipo.

Con toda la información recopilada, se opta por trabajar más fuerte en la fábrica de pastas.

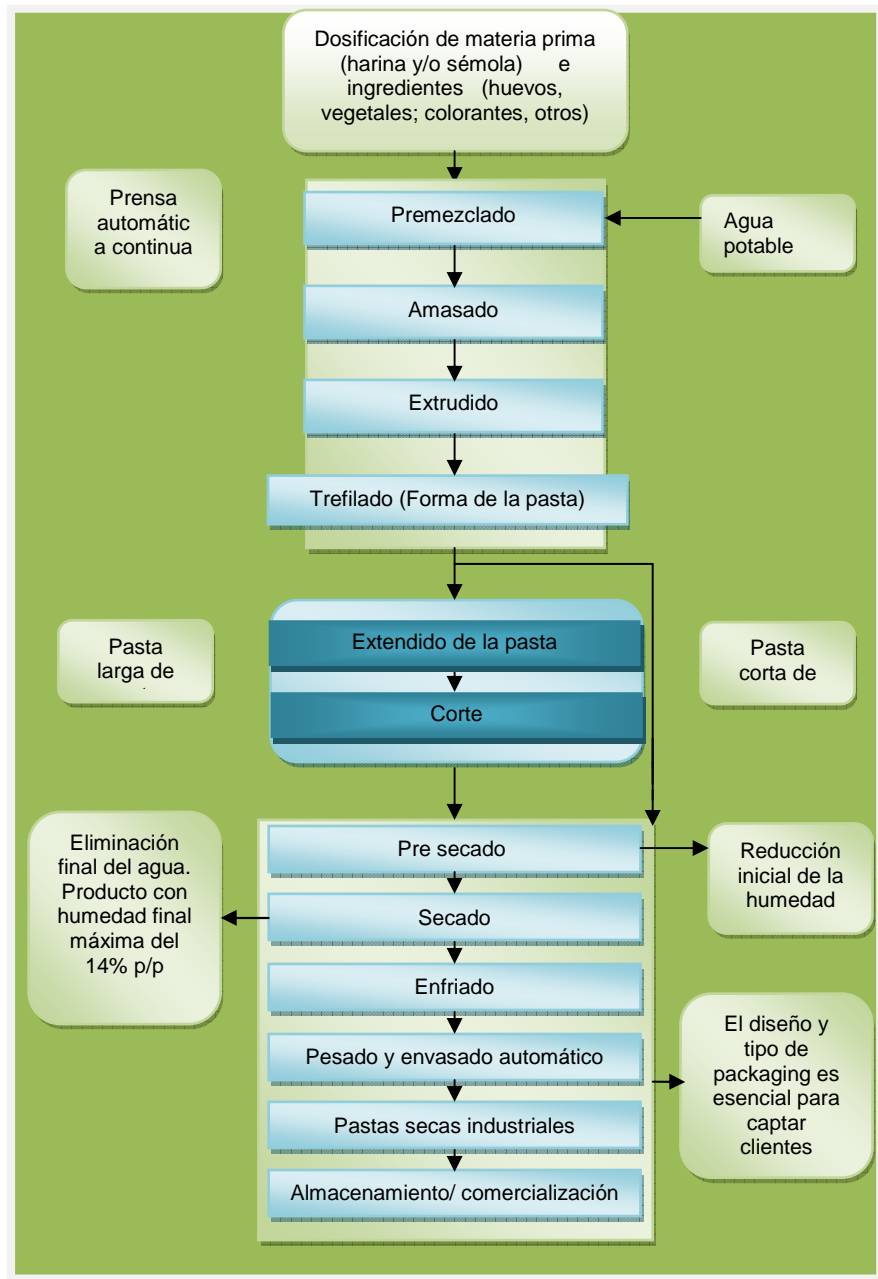
Hay medición de energía en los diferentes procesos con contadores principales en el transformador, pero sólo se busca cuantificar y no busca controlar el consumo para lograr un ahorro.

En algunos equipos se está utilizando variador de velocidad, pero no con el fin de ahorro energético, sino más bien por necesidades del proceso lo cual lleva a esta utilización, por el lado de cargabilidad no hay datos ni información y el factor de potencia es centralizado en el transformador y no de forma puntual en cada motor, donde daría mayores resultados, aunque igual con la forma centralizada se cumple con el factor de potencia que exige la comercializadora de energía, para no incurrir en multas.

La figura 8 nos muestra y describe el proceso de fabricación de pastas en la empresa Harinera del valle S.A.

2.2 DESCRIPCIÓN PROCESO FABRICACIÓN PASTAS EMPRESA HARINERA DEL VALLE Y SUS MOTORESELECTRICOS

Descripción del proceso de fabricación de pastas Figura 8.



Fuente: Disponible en internet: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r_46/cadenas/Farinaceos_Pastas_alimenticias.htm.

2.2.1 Elaboracion de pastas alimenticias en la Empresa Harinera del Valle S.A. El proceso de la elaboracion de pastas alimenticias inicia con la recepcion de la materia primala cual es a base de trigo durum, se realizan los respectivos analisis de aseguramiento de la calidad, antes de hacer su ingreso a los silos de almacenamiento, una vez en estos el departamento de produccion, selecciona la materia prima a utilizar y por medio de bombeose envia el producto hacia las prensas que son las encargadas de la fabricacion de la pastas.

En la prensa se adiciona agua a la materia prima y se mezcla homogeneamente en recipientes hermeticos y al vacio, el volumen de agua se adiciona se agrega de acuerdo a la cantidad de producto en porcentajes, en este compartimiento se busca gradualmente que la hidratacion sea homogénea en todos los granulos de harina o semola que componen la masa para evitar defectos finales en la pastas seca, como son las manchas blancas, el vacio durante el amasado evita la oxidacion enzimática de los pigmentos naturales de la semola, que pueden afectar el color amarillo de las pastas.

Posteriormente la masa ingresa a la unidad de extrusion donde un tornillo sin fin fuerza su paso a travez de una abertura que le otorga la forma final del producto, en esta etapa la masa sufre una compresion y friccion mecánica que incrementa su temperatura, lo cual puede implicar para el producto riesgos tales como sequedad excesiva, por lo que la temperatura no debe superar los 40°C. la salida de la prensa posee una pieza intercambiable que le otorga distintas formas a la pasta (Moldes).

Uan vez ya formadas y cortadas las pastas, salen de la prensa automaticamente y son sometidas a un presecado a fin de evitar que se deformen o peguen entre si; luego una cinta de tela las conduce hacia el secador donde la humedad final del producto debe ser 12.9% aproximadamente. El tiempo de permanencia dentro de los secadores depende de la variedad de pasta, si es hueca o no, de su tamaño, y el paso requiere tener en cuenta las variables de temperatura y humedad.

Cuando las pastas llegan en forma continua, a la salida del secador, un elevador de cangilones las traslada hacia silos donde permanecen hasta su enfriamiento final, antes de este existe un enfriador que me enfria un poco mas rapida la pasta para evitar menor tiempo de almacenamiento final, para luego su posterior empaque final a través de empacadoras automaticas horizontales y verticales con velocidades promedio de 95 bolsas.

3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE GESTIÓN DE MOTORES EN HARINERA DEL VALLE

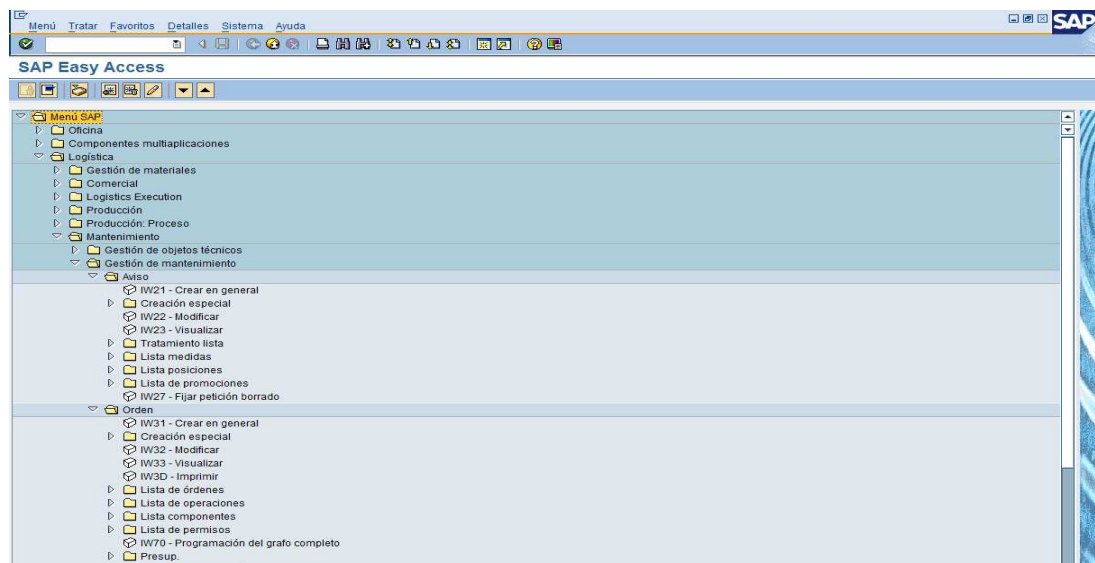
Para la evaluación de estado de gestión de motores eléctricos en la empresa Harinera Del Valle se realizó inicialmente un reconocimiento detallado de los distintos procesos que hay para la producción de pastas alimenticias, Harina de trigo y Harina de Maíz, con el fin de identificar todos los motores eléctricos involucrados en el proceso. Luego de realizar esta etapa de observación se procedió a analizar la parte de gestión de motores eléctricos.

Las rutinas que se manejan en el interior del departamento para llevar un control adecuado en cuanto al mantenimiento, reparación y adquisición de motores eléctricos son las siguientes:

Se cuenta con un software principal que me maneja todos los diferentes procesos de la empresa, incluyendo el de mantenimiento. SAP.

En este software incluye todos los tipos de mantenimiento, predictivo, preventivo y correctivo, los preventivos y predictivos salen automáticamente de acuerdo a la periodicidad que se ha programado, la figura 9 ilustra parte del sistema.

Figura 9. Pantallazo SAP Sistema operativo Harinera del Valle



Fuente: HARINERA DEL VALLE. Sistema operativo SAP. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

Todos los días a primera hora se realiza una reunión del grupo de mantenimiento de la planta, para la organización de las labores del día, se reparten las ordenes de trabajo que son previas y van amarradas a un aviso de mantenimiento que ha generado algún usuario o cliente interno de la compañía en el sistema SAP, también se revisan las órdenes del día anterior y las que están pendientes, igualmente las que se van a programar para un fin de semana o para fin de mes. También se organizan las diferentes rutas a realizarse con un técnico encargado, según sea mecánico o eléctrico.

Se realiza un mantenimiento mensual que coincide con las paradas de producción que realizan al fin de mes para realizar cortes e inventarios en ese lapso se realizó un mantenimiento programado de acuerdo a las rutinas y planes que arroja el sistema y de las fallas que se han reportado durante el mes.

3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO EN HARINERA DEL VALLE

3.1.1 Mantenimiento preventivo en Harinera del Valle. El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas

La lubricación es la vida prolongada de los equipos, por ello ocupa el primer lugar en los preventivos, se realiza de acuerdo a recomendaciones del fabricante del equipo, en forma mensual, trimestral o semestral, en los mismos manuales, se detalla el tipo de lubricante a utilizar para cada equipo, sea grasa o aceite.

Mantenimiento preventivo a motores eléctricos: el mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.

Además se debe agregar que el mantenimiento preventivo en general se ocupa en la determinación de condiciones operativas, de durabilidad y de confiabilidad de un equipo en mención este tipo de mantenimiento nos ayuda en reducir los tiempos que pueden generarse por mantenimiento correctivo.

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una

demanda del operario o usuario; también es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado – MPP.

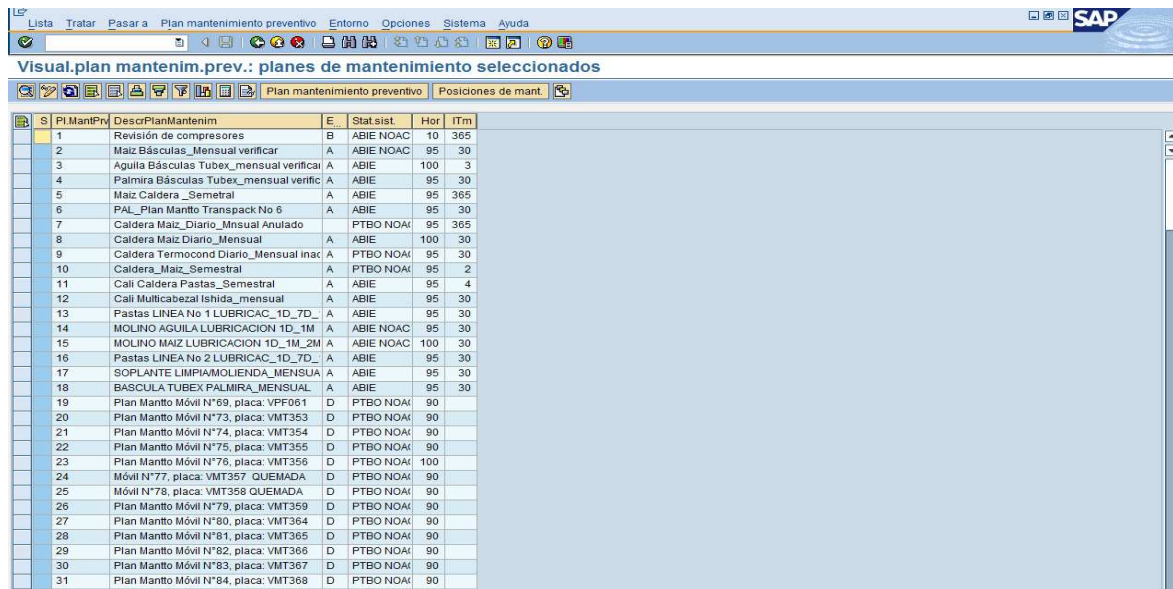
Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno, la figura 10 ilustra este tipo de mantenimiento en SAP.

Actividades del mantenimiento preventivo en Harinera del Valle:

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente,
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

Figura 10. Planes de mantenimiento preventivo



S	Pl.MantPr	DescrPlanMantenim	E	Stat	sist	Hor	ITm
1		Revisión de compresores	B	ABIE	NOAC	10	365
2		Maiz Básculas_Mensual verificar	A	ABIE	NOAC	95	30
3		Agulla Básculas Tubex_mensual verif	A	ABIE		100	3
4		Palmira Básculas Tubex_mensual verif	A	ABIE		95	30
5		Maiz Caldera _Semestral	A	ABIE		95	365
6		PAL_Plan Mantto Transpack No 6	A	ABIE		95	30
7		Caldera Maiz_Diario_Mensual Anulado		PTBO	NOAC	95	365
8		Caldera Maiz_Diario_Mensual	A	ABIE		100	30
9		Caldera Termocond Diario_Mensual inac	A	PTBO	NOAC	95	30
10		Caldera_Maiz_Semestral	A	PTBO	NOAC	95	2
11		Cali Caldera Pastas_Semestral	A	ABIE		95	4
12		Cali Multicabezal Ishida_mensual	A	ABIE		95	30
13		Pastas LINEA No 1 LUBRICAC_1D_7D_	A	ABIE		95	30
14		MOLINO AGUILA LUBRICACION 1D_1M_	A	ABIE	NOAC	95	30
15		MOLINO MAIZ LUBRICACION 1D_1M_2M_	A	ABIE	NOAC	100	30
16		Pastas LINEA No 2 LUBRICAC_1D_7D_	A	ABIE		95	30
17		SOPLANTE LIMPIAMOLIENDA_MENSUAL	A	ABIE		95	30
18		BASCULA TUBEX PALMIRA_MENSUAL	A	ABIE		95	30
19		Plan Mantto Móvil N°69, placa: VPF061	D	PTBO	NOAC	90	
20		Plan Mantto Móvil N°73, placa: VMT353	D	PTBO	NOAC	90	
21		Plan Mantto Móvil N°74, placa: VMT354	D	PTBO	NOAC	90	
22		Plan Mantto Móvil N°75, placa: VMT355	D	PTBO	NOAC	90	
23		Plan Mantto Móvil N°76, placa: VMT356	D	PTBO	NOAC	100	
24		Móvil N°77, placa: VMT357 QUEMADA	D	PTBO	NOAC	90	
25		Móvil N°78, placa: VMT358 QUEMADA	D	PTBO	NOAC	90	
26		Plan Mantto Móvil N°79, placa: VMT359	D	PTBO	NOAC	90	
27		Plan Mantto Móvil N°80, placa: VMT364	D	PTBO	NOAC	90	
28		Plan Mantto Móvil N°81, placa: VMT365	D	PTBO	NOAC	90	
29		Plan Mantto Móvil N°82, placa: VMT366	D	PTBO	NOAC	90	
30		Plan Mantto Móvil N°83, placa: VMT367	D	PTBO	NOAC	90	
31		Plan Mantto Móvil N°84, placa: VMT368	D	PTBO	NOAC	90	

Fuente: HARINERA DEL VALLE. Sistema operativo SAP. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

3.1.2 Mantenimiento predictivo Harinera del Valle S.A. El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

El mantenimiento predictivo que está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes del que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

Se trata de realizar ensayos no destructivos, como pueden ser análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, medida de vibraciones, medición de temperaturas, termo grafías, etc.

El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo: cambiar o reparar la maquina en una parada cercana, detectar cambios anormales en las condiciones del equipo y subsanarlos, etc.

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

- Vibración de cojinetes
- Temperatura de las conexiones eléctricas
- Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por ejemplo la vibración de un rodamiento) en intervalos periódicos hasta que el componente falle.

Actividades del mantenimiento predictivo en Harinera del Valle:

- Termo grafía

- Ultrasonido, defectología y análisis de espesores.
- Alineación Láser entre acoples y entre poleas.
- Análisis de Vibración
- Balanceo Dinámico de rotores.
- Distribución de Equipos de Diagnostico

3.1.3 Mantenimiento Correctivo a Motores Eléctricos. El mantenimiento correctivo o mantenimiento por rotura fue el esbozo de lo que hoy día es el mantenimiento. Esta etapa del mantenimiento va precedida del mantenimiento planificado, en el sistema SAP, primero se crea un aviso, figura 11, con el aviso se genera una orden, figura 12.

En esta etapa, "mantener" es sinónimo de "reparar" y el servicio de mantenimiento operaba con una organización y planificación mínimas (mecánica y engrase) pues la industria no estaba muy automatizada y las paradas de los equipos productivos no tenían demasiada importancia al tratarse de maquinaria sencilla y fiable y, debido a esta sencillez, fácil de reparar. Este mantenimiento agrupa las acciones a realizar ante un funcionamiento incorrecto, deficiente o incompleto que por su naturaleza no pueden planificarse en el tiempo. Se establecerá un marco de colaboración que contemple las actividades que corresponden a la garantía del actual proveedor y las actividades objeto de este contrato. La corrección de los defectos funcionales y técnicos de las aplicaciones cubiertas por el servicio de mantenimiento, incluye:

- Recogida, catalogación y asignación de solicitudes y funciones.
- Análisis del error / problema.
- Análisis de la solución.
- Desarrollo de las modificaciones a los sistemas, incluyendo pruebas unitarias.
- Pruebas del sistema documentadas.
- Mantenimiento de las documentaciones técnicas y funcionales del sistema.

Figura 11. Aviso de mantenimiento para actividades varias

Modificar aviso-MT: Solicitud Mnto.

Aviso: 10263561 M1 Cbio Camisas Tornillos Prensa L1 Gunther
 Status: METR ORAS APRO
 Orden: 5235981

Datos Básicos Fechas Resumen programación mantenimiento Posiciones Medidas Acciones Garantía

Circunstancias
 Descripción: Cbio Camisas Tornillos Prensa L1 Gunther
 Vista técnico: Buhler Gunther Jeshier
 26.08.2010 16:30:49 PH-MT001 (PH-MT001)
 Mnto Grupo Neumatico Prensa Línea 1
 08.09.2010 15:14:45 TEC-MT001 (TEC-MT001)
 ver texto en las operaciones
 Línea 8, columna &d - línea 1, coturi Línea 3 - línea 8 de 8 líneas

Objeto de referencia
 Ubic. técn.: CAL-0310-1005 Cali, Línea No 1, Pensado
 Equipo: 103510 Prensa-Línea No 1
 Conjunto:

Responsabilidades
 Grupo planif.: 010 / 1000 Dpto. Mantenimiento
 Pto. tojo resp.: CA-REC / 1000 Jerarquía Cali Mecánicos
 Responsable: 10114 JECERRA CORRALES JOHN JAIRO
 Autor del aviso: Fecha de aviso: 25.08.2010 10:50:08

Posición
 Parte objeto: PRENSA 0040 Cilindro Tornillo Comp.
 Sint. avería: PRENSA 0290 Problema en el amasado
 Texto: Mnto Grupo Neumatico Prensa Línea 1
 Causas avería: PRENSA 0050 Desgaste de Componente

Fuente: HARINERA DEL VALLE. Sistema operativo SAP. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

Orden que se genera con el aviso de mantenimiento, para que la ejecute un técnico de mantenimiento, ver figura 12 de una orden de mantenimiento.

Figura 12. Orden de mantenimiento lista para tratar

Modificar Orden Manto 5235981: Cabecera central

Orden: PH01/5235981 Cbio Camisas Tornillos Prensa L1 Gunther
 Stat.sist.: LIB, NOTP, DINN, IHPP, NOVH, NLIQ, PREC APRO

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Responsable
 Gpo. plan.: 010 / 1000 Dpto. Mantenimiento
 Rs. pto. tr.: CA-LMM01 / 1000 Líder Mto Mecánico
 Aviso: 10263561
 Costes: 0.00 COP
 Cl. actv. PM: 006 Actividad Parada
 Estad. instal.: 0 Fuera de servic.
 Dirección:

Fechas
 Inic. extr.: 24.08.2010
 Fin. extr.: 26.01.2011
 Prioridad: Riesgo Equipo

Objeto de referencia
 Ubic. técn.: CAL-0310-1005 Cali, Línea No 1, Pensado
 Equipo: 103510 Prensa-Línea No 1
 Conjunto:

Datos avería Sintoma/Avería Fechas aviso

Primera operación
 Operación: Cbio Camisas Tornillos Prensa L1 Gunther Clv. Cál: Calcular duración
 Pto. Trab/Ca: CA-LMM01 / 1000 Clv. Ctrl: PH01 Cl. actv.: HSMHTQ
 Trabl. invert.: H Cantidad: Dur. oper.: H
 N° pers.: Comp.

Fuente: HARINERA DEL VALLE. Sistema operativo SAP. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

4. RECOMENDACIÓN Y NORMALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS NECESARIOS PARA HACER SEGUIMIENTO Y GESTIÓN ENERGÉTICA A LOS MOTORES DE LA PLANTA

Hay muchas y variadas formas de lograr el uso eficiente de la energía eléctrica en el funcionamiento de los motores eléctricos y por lo tanto una reducción de los costos asociados al consumo de energía, tenemos: selección correcta de la potencia del motor, mejorar la calidad de la energía eléctrica, reducir la carga mecánica sobre el motor, usar motores de alta eficiencia, usar controladores electrónicos de velocidad, aplicar métodos de mantenimiento centrados en la eficiencia y el usar métodos de reparación que mantengan la eficiencia del motor.

Para estos pasos la empresa se apoyó también en un estudio de calidad de energía y cargabilidad de los transformadores, el cual se va documentando en cada uno de los pasos siguientes, más en detalle a partir del numeral 4.2.

4.1 SELECCIÓN CORRECTA DE LA POTENCIA DEL MOTOR

La potencia de un motor eléctrico se calcula, con el motor operando a una eficiencia y un factor de potencia adecuado, si no es así, el consumo energético se incrementa de manera excesiva, también se calcula en función del calentamiento, se verifica su capacidad de sobrecarga y las condiciones de arranque

Los procedimientos para calcular la potencia van ligados al tipo de carga: para cargas de servicio continuo se utiliza el método directo y solo buscamos en catalogo un motor de potencia similar o el inmediatamente superior, la altitud y la temperatura del medio, se deben tener en cuenta, para evitar calentamientos excesivos. Si no existen datos de placa o catálogos, se miden utilizando analizadores de red.

Para tipo servicio continuo con carga variable, se utilizan los siguientes métodos: Métodos de pérdidas medias. Método de la corriente equivalente. Método del par equivalente. Método de la potencia equivalente, como el motor trabaja por ciclos y la carga varía, por esta razón se deben utilizar los métodos anteriores indicados de mayor a menor precisión, la altitud y la temperatura también se deben tener muy en cuenta.

4.2 MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA INSTALACIÓN

Las mediciones de parámetros eléctricos (calidad de potencia) comprenden el análisis del comportamiento de los parámetros eléctricos: tensiones, corrientes, potencias, factor de potencia y las distorsiones armónicas de las señales de tensión y corriente. El objetivo de las mediciones es determinar si la energía suministrada cumple con los requisitos mínimos de calidad según normatividad colombiana. Estudio que ya se realizó en la empresa Harinera Del Valle S.A. y en cada paso se va a ir documentando.

Los motores eléctricos de inducción están diseñados y fabricados para operar en las condiciones especificadas en la placa de características. Así mismo deben ser alimentados con un sistema trifásico de muy buena calidad. Los fenómenos de calidad de la potencia eléctrica que se presentan con mayor frecuencia son: tensión simétrica y de magnitud mayor o menor que la tensión de placa, tensión desequilibrada es decir las tres fases presentan magnitudes diferentes y forma de onda de la tensión distorsionada es decir no es una onda sinusoidal pura.

Si la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red es baja el Motor operara con mayores pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida. Por lo tanto es importante se verifique la calidad de la potencia eléctrica de las instalaciones en caso contrario se debe conocer los porcentajes mínimos de operación segura del motor, en cuanto a calidad de energía.

La calidad de energía suministrada al motor, tiene un alto impacto en el desempeño de los mismos. Las variaciones en la frecuencia y el voltaje tienen un impacto negativo, por ejemplo, si el voltaje suministrado a un motor es el 80% del voltaje nominal, el torque, que es proporcional al cuadrado del voltaje puede llegar a ser aproximadamente el 64% del torque producido en condiciones óptimas.

Por otra parte se pueden mencionar más eventos que están relacionados con la calidad de la energía como son: fallas o ausencia de la energía en una de las fases en motores trifásicos, desbalance entre fases que puede causar calentamiento y este a su vez el deterioro del aislamiento.

4.2.1 Mantener los niveles de tensión cercana al valor nominal. Cuando el motor opera a potencia nominal es recomendable que la tensión del motor sea muy cercana al valor de la tensión nominal con una desviación máxima del 5%.

Las variaciones de tensión afectan significativamente la eficiencia, el factor de potencia y el tiempo de vida, los efectos típicos se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Efectos típicos de los niveles de tensión sobre las características del motor de inducción

% del voltaje nominal	90	95	100	105	110
Eficiencia a carga nominal	0,905	0,915	0,92	0,925	0,92
Factor de potencia a carga nominal	0,9	0,89	0,88	0,87	0,86
Deslizamiento a carga nominal	1,23	1,11	1	0,91	0,83
Corriente a carga nominal	1,1	1,04	1	0,956	0,935
Carga a eficiencia máxima	0,73	0,81	0,9	1	1,1
Elevación de temperatura a carga nominal	1,11	1,05	1	0,925	1,01

Fuente: Linders J. Effects of Power Supply Variations on AC Motor Characteristics. IEEE.Transactions on Industry Applications, Vol 1A-8, No.4, July-August 1972.

Si el motor opera con una tensión del 90% la tensión nominal, la eficiencia del motor puede disminuir entre el 2% y 4%. Las tensiones deben medirse en los terminales del motor porque el voltaje disminuye al aumentar la distancia desde el transformador, hasta el motor, entre más lejos este mas caída de voltaje. Los resultados de las mediciones hechas en el estudio de calidad de energía son las siguientes: El cuadro 7 muestra los valores máximos, mínimos y promedios de las señales de tensión y corriente registrados en los puntos bajo estudio, por el lado de baja tensión.

Cuadro 7. Tensión y corriente registrados en los puntos, por baja tensión

Punto de medición	Caract.	Tensiones			Corrientes [A]			FP	Potencias		
		Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic		Kw	Kvar	Kva
Transformador 630 kva molino de Maíz	Max.	455,7	452,7	455,8	470,7	511,9	477,1	-0,1	352,3	97,31	363,5
	Prom.	436,74	434,11	435,82	337,77	364,43	342,37	0,98	237,01	25,44	258,75
	Min.	426,6	424,4	426,2	77,66	81,14	78,45	0,95	-0,3	-92,28	58,61
Transformador 630 Kva molino de Trigo	Max.	238,8	236,46	238,77	1183,2	1284,7	1025,3	-0,2	426,2	132,85	445,9
	Prom.	227,83	226,15	229,1	832,01	888,95	738,82	-0,9	293,44	49,84	319,19
	Min.	221,8	220,23	222,97	120,09	195,64	214,96	0,95	17,34	-117,4	80,05
Transformador 500 Kva Muñeca Pastas	Max.	223,07	224,73	226,39	500	472,1	515,7	-1	178,39	48,29	183,4
	Prom.	215,98	217,79	218,51	310,2	301,43	311,91	0,98	112,75	17,62	115,24
	Min.	211,45	213,22	213,79	168,3	162,61	155,13	0,94	62,25	-11,16	63,03

Cuadro 7. (Continuación).

Punto de medición	Caract.	Tensiones			Corrientes [A]			FP Vca	Potencias		
		Vab	Vbc	Vca	Ia	Vab	Vbc		Ia	Vab	Vbc
Transformador 1000 KvaBühler	Max.	457,1	455,8	451,5	1129,3	1175,4	1157,7	0,99	795,9	325,4	854,5
	Prom.	438,48	438,98	434,58	730,79	752,99	754,3	0,95	525,73	188,92	559,24
	Min.	427,6	427,8	424,1	74,92	69,6	78,58	0,88	56,98	9,48	57,83
Transformador 300 Kva Sector B	Max.	224,79	226,75	225,15	280,82	238,47	273,82	-0,9	96,03	18,35	97,12
	Prom.	217,82	218,99	218,23	154,94	131,41	144,35	-1	53,01	-4,27	53,76
	Min.	213,32	213,99	213,07	92,46	75,51	86,46	0,98	28,99	-14,51	32,13

Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

En el cuadro anterior se muestran los valores máximos, mínimos y promedios de las potencias y del factor de potencia, se aclara que los valores negativos del factor de potencia son capacitivos, el cuadro 8 muestra valores medidos.

Cuadro 8. Tensión y corriente registrados en los puntos, por alta tensión

Punto de medición	Caract.	Tensiones			Corrientes [A]			FP	Potencias		
		Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic		kW	kVAR	Kva
Acometida Principal 34,5kV	Max.	35510	35716	35650	30,02	30,42		-0,76	1707,1	683,1	1834,3
	Prom.	34934,11	35116,25	35090,92	20,37	20,29		0,98	1156,23	368,05	1236,96
	Min.	34359	34592	34554	4,53	4,32		0,92	187,73	-167,16	248,67

Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

Los desbalances de corriente, generados por una inadecuada distribución de cargas en un sistema eléctrico, producen caídas de tensión diferentes en los conductores de fase generando así un desbalance de tensión en el punto de utilización. Normalmente, para un sistema bien diseñado en el cual las impedancias de los alimentadores no son demasiado elevadas se admite desbalances en corriente hasta de 20%.

A continuación en el cuadro 9, se evalúan las variaciones máximas, promedio y mínimas de tensión respecto a la nominal de los equipos

Cuadro 9. Valores máximos, promedio y mínimos de las variaciones de tensión

Punto de medición	Unom [v]	Limite [%]	Variación de la tensión (%)		
			Max.	Prom.	Min.
Transformador 630 kva molino de Maíz	440	±10	3,59	-1,01	-3,55
Transformador 630 kva molino de Trigo	220	±10	8,55	3,5	0,1
Transformador 500 kva muñeca pastas	220	±10	2,9	-1,17	-3,89
Transformador 1000 kvaBuhller	440	±10	3,89	-0,6	-3,61
Transformador 300 kva Sector B	220	±10	3,7	-0,75	-3,15
Acometida principal 34,5 kv	34500	±10	3,52	1,59	-0,41

Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

Las mediciones anteriores nos concluyen que las tensiones de alimentación a la empresa Harinera del valle están dentro de los regímenes permitidos, lo cual favorece notablemente a la eficiencia de los motores en toda la planta

Entre los efectos de los desbalances de tensión se tienen: fallos en equipos de protección y control y calentamiento por el aumento de pérdidas adicionales en los motores, lo que conlleva a una reducción de su capacidad y pérdida de vida útil.

La norma técnica colombiana NTC 5000² establece un valor de referencia para los desbalances de tensión de 2% en sistemas trifásicos con tensión nominal menor a 69 kV, durante las mediciones dicho límite se cumple en todos los puntos. Análogamente es estándar IEEE 1159-1995 define: “los niveles deseables de desbalance deben ser menores al 1% en todos los niveles de tensión para reducir posibles efectos del calentamiento en niveles inferiores”³; para lo cual durante la

² INSTITUTO COLOMBIA DE NORMAS TÉCNICAS. Calidad de la potencia eléctrica – CPE – Definiciones y términos fundamentales. NTC 5000. Bogotá: ICONTEC, 18 de septiembre de 2002.

³Linders J. Effects of Power Supply Variations on AC Motor Characteristics.IEEE.Transactions on Industry Applications, Vol 1A-8, No.4, July-August 1972.

medida los valores registrados de desbalance de las señales de tensión igualmente cumplen con dicha recomendación.

El cuadro 10, presenta los valores máximo, mínimo y promedio de los desbalances entre tensiones de fase y los desbalances entre las corrientes de cada fase registrados en la medición.

Cuadro 10. Valores máximo, mínimo y promedio de los desbalances

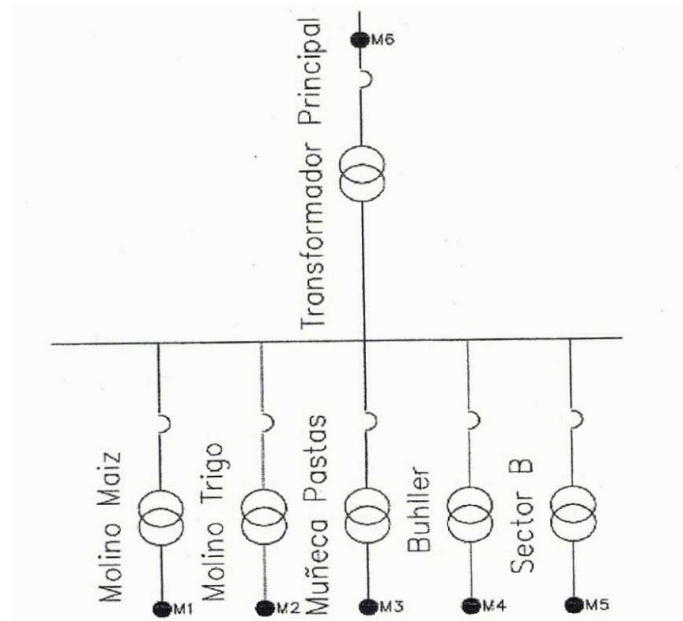
Punto de medición	Tensión				Corrientes [%]			
	Limite	Max.	Prom.	Min.	Limite	Max.	Prom.	Min.
Transformador 630 kVa molino de Maíz	2	0,65	0,45	0,22	20	6,52	4,09	0,23
Transformador 630 kVa molino de Trigo	2	1	0,75	0,2	20	12,37	8,59	0,68
Transformador 500 kVa muñeca pastas	2	0,88	0,67	0,28	20	8,6	3,85	0,47
Transformador 1000 kVaBuhller	2	0,88	0,7	0,32	20	7,65	4,32	2,25
Transformador 300 kVa Sector B	2	0,54	0,31	0,02	20	22,06	9,76	1,37

Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

Debido a que los efectos de los desbalances de corriente dependen de las características de las cargas y la capacidad de cortocircuito del sistema, en la actualidad no existe una referencia normativa que defina límites para los mismos. Sin embargo, tal como se muestra en la tabla No 10, se presentan valores inferiores al límite recomendado del 20% en los puntos evaluados, además, dichos valores se podrían suponer como bajos, puesto que los mismos no generan elevados desbalances de las tensiones

La Figura 13, presenta los puntos registrados dentro del sistema eléctrico de la planta Harinera del Valle ubicada en Cali, donde se realizaron las mediciones respectivas.

Figura 13. Puntos de registro del sistema eléctrico de la planta Harinera del Valle



Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

4.2.2 Minimizar el desequilibrio de tensiones. Los factores que crean el desequilibrio de tensión son: cargas monofásicas, cables de diferente calibre, fallas de circuitos, etc. Los sistemas desequilibrados incrementan las pérdidas en el sistema eléctrico industrial y en el motor, aumentan el calentamiento y reducen la eficiencia del motor. Por lo tanto para evitar fallas por calentamiento las normas recomiendan operar el motor con una potencia menor a la potencia nominal. En el numeral anterior se mostraron las diferentes mediciones realizadas y su comportamiento, el reporte final muestra un comportamiento satisfactorio, para nuestra aplicación en los motores.

4.2.3 Minimizar la distorsión armónica presente en la red. El THD es una medida del contenido de armónicos en una señal de tensión o corriente respecto de la señal a 60Hz o fundamental.

Los efectos más significativos de los armónicos dentro de sistemas eléctricos tiene que ver con pérdidas térmicas adicionales en conductores, transformadores y motores debidas al efecto piel y perdidas en el núcleo; afectan la eficiencia y

pueden afectar al torque de los motores, incluso elevar las emisiones de ruido. Otros efectos menos frecuentes tiene que ver con el mal funcionamiento de ciertos equipos electrónicos, imprecisión en la medición de la energía, mala operación de protecciones cuando la distorsión es muy alta e interferencia con las comunicaciones. Si la onda de tensión que alimenta el motor está distorsionada, es decir contienen armónicos de tensión, ocasionará un aumento de pérdidas en el motor con el consiguiente calentamiento y disminución de la eficiencia en el motor.

En general algunas medidas para mejorar la calidad de la potencia son: cambiar los taps del transformador de distribución, realizar un reacomodo de las cargas monofásicas en el sistema, instalar filtros pasivos y/o activos para atenuar los armónicos de tensión.

Resultados de las mediciones realizadas en la empresa.

4.2.3.1 Distorsión armónica total (HD) en tensión. Los equipos electrónicos con dispositivos de control, pueden verse afectados cuando la distorsión armónica en tensión supera el 5%, causando mala operación de los mismos. En el estándar IEEE 519 se recomienda que para sistemas con tensión nominal inferior a 69kV, la distorsión armónica de tensión no supere el 5% de la fundamental, ni que los armónicos individuales superen el límite del 3%

En el cuadro No. 11 se muestran los valores de distorsión armónica total en tensión y corriente registrados en la medida. En el cuadro No 12 se muestran los armónicos individuales predominantes de tensión y corriente así como la magnitud de los mismos.

Cuadro 11. Máximos, promedios y mínimos de THD en tensión y corriente

Punto de medición	THD en tensión (%)				THD en corrientes [%]		
	Límite	Max.	Prom.	Min.	Max.	Prom.	Min.
Transformador 630 kVa molino de Maíz	5	5,81	3,28	1,28	43,43	13,83	4,82
Transformador 630 kVa molino de Trigo	5	5,39	2,94	1,09	37,06	11,09	2,77
Transformador 500 kVa muñeca pastas	5	4,48	2,53	0,81	19,08	7,87	2,55
Transformador 1000 kVaBuhler	5	4,39	2,96	1,29	15,44	8,71	2,01
Transformador 300 kVa Sector B	5	4,71	2,6	0,99	32,78	12,41	4,69
Acometida principal 34,5kV	5	2,96	1,81	0,95	34,12	10,33	3,02

Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

Cuadro 12. Armónicos demandantes en tensión y corriente

Punto de medición		Limite (%)	1 Armónico dominante		2 Armónico dominante		3 Armónico dominante	
			#	Magnitud	#	Magnitud	#	Magnitud
				%		%		%
Transformador 630 kVA molino de Maíz	V	3	5	2,682	7	1,694	6	0,317
	I	N/A	7	9,557	5	8,919	11	2,025
Transformador 630 kVA molino de trigo	V	3	5	1,524	7	1,274	11	0,257
	I	N/A	5	7,415	7	6,993	11	2,553
Transformador 500 kVA muñeca pastas	V	3	5	2,317	7	0,666	11	0,235
	I	N/A	5	6,449	7	2,814	3	1,6
Transformador 1000 kVA buhler	V	3	5	2,483	11	1,071	7	0,593
	I	N/A	5	6,911	7	3,549	11	2,942
Transformador 300 kVA Sector B	V	3	5	2,197	7	1,143	11	0,286
	I	N/A	7	9,059	5	5,954	11	3,136
Acometida principal 34,5kV	V	3	5	1,669	7	0,629	3	0,079
	I	N/A	5	8,406	7	5,011	3	0,693

Fuente: GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

Tal como se observa en el cuadro 11, se cumple el límite del 5% recomendado para el THD-V en todos los transformadores medidos, aunque en la anterior afirmación se exceptúan el transformador de 630kVA molino de maíz y el transformador de 630kVA de molino trigo debido a que presentan un máximo que supera levemente el límite recomendado

Los armónicos individuales registrados en cada transformador y presentados en el cuadro 12 no superan el límite del 3% recomendado por la norma IEEE 519

4.3 CARGAS MECÁNICAS ACOPLADAS AL MOTOR

Independientemente de la eficiencia del motor, también se puede aplicar eficiencia mecánica. Cuando se analiza la eficiencia de un sistema accionado por un motor, surge la inquietud sobre si la carga se puede disminuir. Sirve de muy poco optimizar el motor, si la carga accionada y su proceso son ineficientes. Las recomendaciones para reducir la carga sobre el motor son las siguientes:

4.3.1 Bombas y ventiladores. Las bombas y los ventiladores constituyen el 37% de las cargas usadas con motores, dentro de la empresa, por lo tanto lograr que estas operen con la mayor eficiencia posible representa una muy buena opción para la eficiencia energética. Se recomiendan las siguientes acciones:

- Seleccione una bomba eficiente y que opere muy cerca de su presión y flujo de diseño nominal. Si la bomba opera muy por debajo de su carga nominal, instale un impulsor más pequeño o redimensione el que existe.
- Minimice el número de codos agudos en la tubería.
- Use tuberías de baja fricción y considere cambiar las tuberías viejas.
- Realice periódicamente el mantenimiento a las bombas (semestral), sin mantenimiento la eficiencia puede caer en 10% respecto al valor de eficiencia nominal.
- Seleccione ventiladores eficientes.
- Realice un mantenimiento periódico de los ventiladores, por ejemplo limpie regularmente las aspas y mantenga los filtros limpios para reducir las caídas de presión.
- Instale un control para activar el ventilador solo cuando sea necesario.
- Si es posible reduzca la velocidad variando los diámetros de las poleas.

Para el caso de Harinera del Valle, se tiene un programa de mantenimiento para las bombas con una firma contratista la cual realiza un mantenimiento periódico a todas las bombas.

Como los ventiladores y las bombas son los de mayor porcentaje, es de vital importancia crear conciencia de evaluar estas situaciones dentro de la empresa, como lo muestra el cuadro 3 y Figura 5, página 20 y 21 respectivamente, donde se indica que son los equipos más usados.

4.3.2 Eficiencia energética en las transmisiones mecánicas. En Harinera del Valle los sistemas de transmisión mecánica son los más importantes después de los motores, pues todos los motores van acoplados directa o indirectamente a transmisiones, razón por la cual también se debe tener muy en cuenta para la gestión energética, que se está iniciando con este trabajo.

Los sistemas de transmisión permiten transmitir el torque del motor a las cargas ó equipos (bombas, compresores, etc.) ya sea cambiando o no la velocidad que entrega el motor, lo que se logra mediante acoplamientos al eje de engranajes, poleas. Es importante en la selección del sistema de transmisión conocer las características de cada sistema para realizar una adecuada selección.

Se recomienda seguir las siguientes sugerencias:

- Acople directo. Asegure un correcto acoplamiento entre el motor y la carga, se recomienda usar la tecnología láser para un buen alineamiento.
- Correas o Bandas. Se recomienda usar bandas en V y de preferencia bandas en V dentadas; de ser posible usar bandas sincrónicas. También se recomienda usar la tecnología láser para un buen alineamiento.
- Reductores. Es importante seleccionar adecuadamente el tipo de reductor (helicoidal, cónicos, cilíndrico y tornillo sin fin) de acuerdo a la potencia y a la relación de velocidades. Por ejemplo los reductores tipo sin fin permiten reducciones elevadas pero con una eficiencia menor que los otros tipos de reductores. Es importante considerar que la eficiencia del reductor cae bruscamente cuando estas transmisiones trabajan con una carga menor al 50% de la carga nominal.
- Cadenas. No tienen deslizamiento y se recomiendan para transmitir elevadas cargas que pueden llegar hasta los miles de HP, la eficiencia puede alcanzar a 98%, pero el desgaste le hace perder un par de puntos porcentuales.

4.4 USAR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Dentro de la empresa, aun no existen motores de alta eficiencia, razón por la cual se hace casi que necesario, implementar un procedimiento el cual nos lleve a la utilización de este tipo de motores, a continuación se complementa el porqué de utilizar estos con fines a la gestión eficiente de motores eléctricos en Harinera del Valle.

Los motores eléctricos de alta eficiencia, son motores de diseño y construcción especial que presentan menos pérdidas que los motores eléctricos estándares. Una menor pérdida de potencia hace que el motor tenga una mayor eficiencia es decir que consuma menos energía para realizar el mismo trabajo que un motor normal.

Los estudios técnicos y económicos, muestran que si se analiza a 10 años, de los costos totales del motor el costo de compra es de 1%, el costo de la energía es de 95 %, costo de mantenimiento 3 %, el costo de ingeniería y logística 1%. Así el costo de compra del motor es poco significativo respecto al costo total de operación, por eso al seleccionar motores eléctricos debemos de considerar además del costo inicial de compra el análisis económico de la operación.

A continuación se presentan las ventajas y limitaciones que tienen estos motores, para ser considerados para su correcta aplicación:

4.4.1 Ventajas de los motores de alta eficiencia. Son normalmente más robustos y mejor contruidos que los motores estándar, lo que traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.

Al tener una eficiencia mayor, se disminuye los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a una carga cercana a la potencia nominal.

4.4.2 Limitaciones de los motores de alta eficiencia. Como operan a una velocidad mayor que los motores estándares, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, este hecho debe valorarse en cada situación.

El momento de arranque puede ser menores que los motores estándares, cuestión que resulte necesario analizar detalladamente en cada aplicación. La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red en el momento de arranque.

El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar en el intervalo de 15 a 40 HP⁴.

4.4.3 Recomendaciones para la aplicación de motores de alta eficiencia.

Cuando se considera la posibilidad de compra de un motor nuevo, se debe evaluar económicamente la rentabilidad de pagar un costo adicional por adquirir un motor de alta eficiencia frente al ahorro obtenido por un menor consumo energético.

Generalmente se considera que 2 a 3 años es un periodo aceptable de retorno de la inversión adicional. Luego de realizar un análisis económico se recomienda la compra de motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

- En los motores entre 10 y 75 HP cuando operan 2500 horas anuales o más.
- En los motores de potencia menor a 10 HP ó mayor a 75 HP cuando operan 4500 horas o más.
- Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
- Cuando se aplican conjuntamente con Variadores electrónicos de frecuencia, para accionar bombas y ventiladores.

Por todas las razones anteriores, en Harinera del Valle se tomó un caso de estudio, para el cambio de motores estándar por los de alta eficiencia, con resultados satisfactorios en el estudio, se nombra en el numeral 6.2.1.

⁴ Guía de motores [en línea]. Corpoema.net, s.f. [consultado enero de 2011]. Disponible en internet: <http://www.corpoema.net/Informacion%20FNCE/Eficiencia/Guia%20URE%20motores.pdf>.

4.5 SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA VARIABLES DE VELOCIDAD Y TENSIÓN

Es importante que el motor y el equipo operen en su punto óptimo de operación, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación de la carga sea la que corresponda a su eficiencia máxima. Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para este fin: los arrancadores suaves y los variadores electrónicos de velocidad.

4.5.1 Arrancadores suaves. En la empresa no existen arrancadores suaves, para limitar los arranques directos de los motores, una muy buena aplicación seria para los arranques estrella triangulo, los cuales demandan un gran consumo de energía, los arrancadores suaves, serian una muy buena opción para estos casos, por que limitan los picos altos de corriente. Existen, alrededor de 20 motores con arranque estrella triangulo.

Los arrancadores suaves son la solución óptima para todo tipo de problemas relacionados con el arranque directo de un motor de corriente alterna, tales como:

Elevada corriente de arranque que con frecuencia representa una carga abrupta para la red.

Golpes bruscos en engranajes y otros elementos de transmisión que provocan un desgaste innecesario de las piezas mecánicas.

Altos valores de la aceleración y desaceleración que originan situaciones inestables en los procesos, por ejemplo en cintas transportadoras.

Los Arrancadores Suaves optimizan las secuencias de arranque y de parada, aumentan la productividad, permiten ahorro de energía / mantenimiento y protegen los motores. El control de la tensión aplicada al motor por medio de los ajustes del ángulo de disparo de los tiristores permite a los arrancadores suaves arrancar y parar un motor eléctrico de modo suave y controlado. Con los ajustes adecuados de las variables, el par producido es ajustado a las necesidades de la carga para que la corriente necesaria sea la más baja posible en los arranques (eficiencia energética).

4.5.2 Variadores electrónicos de velocidad. Los variadores de velocidad ya se vienen trabajando dentro de la empresa, existen alrededor de 30 aplicaciones a diferentes potencias, pero estas se han acondicionado o montado más a las necesidades del proceso, que pensando en la eficiencia del motor, por ejemplo, bajar más la velocidad de salida de un reductor, el cual va acoplado a un motor, si bajo velocidad del motor, bajo velocidad del reductor, pero no se ha visto por el lado de eficiencia, la cual nos lleva a implementar más estos equipos.

El punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente no ocurre a la velocidad nominal del motor ni a la tensión nominal del motor, más bien este punto se encuentra a una velocidad diferente a la de placa y a una tensión menor a la nominal. Actualmente los variadores electrónicos de velocidad, permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación.

Los variadores electrónicos de velocidad permiten regular el torque que entrega un equipo sin necesidad de recurrir a opciones antieconómicas, que demandan más energía de la requerida o que son impracticables en muchos casos; como es el caso de: la recirculación del fluido, la estrangulación del caudal mediante válvulas y el paro del equipo (On-off). Estos dispositivos permiten lograr considerables ahorros de energía en la operación de los motores eléctricos y otros beneficios adicionales, tales como prolongación de la vida útil de los equipos accionados por los motores, menor ruido, menos desgaste, y mejor control⁵.

⁵ Ibíd., Disponible en internet: <http://www.corpoema.net/Informacion%20FNCE/Eficiencia/Guia%20URE%20motores.pdf>.

5. ELABORAR LAS MEDIDAS Y PROCEDIMIENTOS QUE PERMITAN REDUCIR LA DEMANDA DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, EN LA CARGA ACTUAL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE LA EMPRESA

Se necesita determinar cómo y en qué medida se ve afectada la gestión de motores en Harinera del valle, en relación con este punto, y se debe controlar preferiblemente el factor de potencia, se va a realizar énfasis en esta variable y como me afecta la eficiencia de los motores, cuando por ejemplo están a baja cargabilidad.

5.1 FACTOR DE POTENCIA

En Harinera del Valle se cuenta con un sistema centralizado de control para el factor de potencia, que se encuentra ubicado al lado de cada transformador de cada proceso productivo, es decir va en paralelo a la carga del transformador.

El análisis del factor de potencia al interior de un sistema eléctrico industrial está relacionado con la eficiencia del mismo. Normalmente el interés se fija en el análisis del factor de potencia global porque genera sobrecostos en la facturación de energía; cuando los reactivos son superiores al 50% de los activos, esto se cobran como si fueran activos

Bajo condiciones de operación normal, el factor de potencia debe permanecer durante el 95% del tiempo de las mediciones conjuntamente entre 0.9 y 1 para factor de potencia inductivo y entre 0.9 y 1 para factor de potencia capacitivo.

El cuadro 13, presenta los valores del factor de potencia obtenidos a partir de las mediciones, realizadas directamente en los transformadores de potencia principales de los procesos internos de la empresa Harinera del valle. Lo anterior en estos, es a razón de que el control de factor de potencia es centralizado en los diferentes transformadores que hay internamente dentro de la empresa, 6 en total.

Cuadro 13. Factor de potencia centralizado en cada transformador por baja tensión

Punto de medición	caract.	FP	% De tiempo que cumple $FP \geq 0,9$
Transformador 630 kVA molino de Maíz	Max.	-0,05	79,10%
	Prom.	0,98	
	Min.	0,95	
Transformador 630 kVA molino de Trigo	Max.	-0,15	79,50%
	Prom.	-0,88	
	Min.	0,95	
Transformador 500 kVA Muñeca Pastas	Max.	-0,99	100,00%
	Prom.	0,98	
	Min.	0,94	
Transformador 1000 kVABuhller	Max.	0,99	99,70%
	Prom.	0,95	
	Min.	0,88	
Transformador 300 kVA Sector B	Max.	-0,9	100,00%
	Prom.	-0,99	
	Min.	0,98	
Acometida Principal 34,5kV	Max.	-0,76	84,00%
	Prom.	0,98	
	Min.	0,92	

Fuente: GERS, archivo de computador.

El factor de potencia en el transformador de 630 kva molino de maíz y en el transformador de 630 kva molino de trigo no cumplen con un factor de potencia entre -0.9 y 1 inductivo o entre -0.9 y 1 capacitivo según lo establece la norma, dado que predominan los valores capacitivos producto de la compensación excesiva que se hace con los bancos fijos en periodos de baja carga, en consecuencia se hace necesario disminuir el tamaño de los bancos fijos y aumentar el tamaño de los bancos automáticos conservando la capacidad total del banco. Esta situación se evidencio cuando la planta bajo la carga del 24 al 25 de diciembre por la temporada de fin de año.

De acuerdo a este informe ya se tomaron los correctivos de caso y se realizó una redistribución de los bancos de condensadores de estos 2 transformadores, los bancos fijos eran el 10% de la capacidad del transformador, estos se bajaron al 6%, y el 4%, se pasó a la parte automática del sistema a través de otro contactor con secuencia de encendido automática.

Por otro lado, el factor de potencia en la acometida principal de 34.5kV no cumple con lo establecido por la norma, debido a que se mantiene por encima de 0.9 inductivo durante en 84.0% del tiempo de las mediciones, valor cercano al 95% que exige la norma. Producto de la sobre compensación generada aguas abajo en los transformadores molino de maíz y molino de trigo, situación que se presenta especialmente en condiciones baja carga. Sin embargo en la actualidad la planta de harinera del valle no registra consumo de reactivos por debajo de 0.9.p.u inductivos, en consecuencia no se genera cobro adicional por parte de su comercializador de energía ISAGEN.

Un alto bajo factor de potencia genera efectos negativos en el sistema que se mencionan a continuación:

- Incremento en las perdidas por mayor energía reactiva.
- Sobrecostos por pago de penalidades por consumo excesivo de energía reactiva.
- Exige mayor capacidad del sistema de generación y transmisión de energía.
- Genera una disminución del voltaje con el correspondiente incremento de corriente en los motores eléctricos, lo que causa mayor calentamiento y deterioro del aislamiento de los mismos.

Como la parte que más interesa son los casos de los motores, se verá a continuación cómo compensar el factor de potencia directamente en motores⁶.

5.2 COMPENSACIÓN FIJA EN MOTORES

La intensidad reactiva que absorbe un motor asíncrono es constante con un valor aproximado del 90 % de la intensidad en vacío.

⁶ Motor fijo [en línea]. Colombia: Tecnicosuport, s.f. [consultado enero de 2011]. Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>.

- Por esta razón cuando un motor trabaja en bajos regímenes de carga, el $\cos\varphi$ es muy bajo debido a que el consumo de kw es pequeño,

- Así mismo, las características constructivas del mismo, tales como potencia, número de polos, velocidad, frecuencia y tensión, influyen en el consumo de kvar.

* Se puede realizar la compensación fija en bornes de un motor siempre que se tomen las precauciones siguientes:

- Nueva regulación de las protecciones,
- Evitar la autoexcitación,
- No compensar motores especiales,
- No compensar motores con arrancador o variador de velocidad⁷.

Estas precauciones en la conexión se definirán a continuación.

5.2.1 Regulación de las protecciones. Después de realizar la compensación fija de un motor, la intensidad eficaz consumida por el conjunto motor-condensador es más baja que antes. En consecuencia, se deberán reajustar las protecciones del motor según la siguiente relación:

$$\text{Factor de reducción} = \cos\varphi_{\text{inicial}} / \cos\varphi_{\text{final}}$$

5.2.2 Compensación de motores con arrancador. Si el motor arranca con ayuda de algún dispositivo especial, tal como resistencias, inductancias, estrella triángulo o autotransformadores, es recomendable que los condensadores sean conectados después del arranque del motor. Por esta razón no se deberá realizar una compensación fija y se utilizarán condensadores accionados por contactores (Ver el apartado de compensación fija accionada por contactor). En Harinera del Valle se tienen arrancadores estrella triángulo, y son para motores grandes de más de 30HP, que serían los más aptos para realizar aplicaciones.

⁷ Ibíd., Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>

5.3 LA AUTOEXCITACIÓN DE LOS MOTORES

5.3.1 El fenómeno de la autoexcitación. Cuando un motor acciona una carga de gran inercia el motor sigue girando después de cortarle la alimentación (a no ser que se le frene deliberadamente) debido a la inercia de la carga.

Cuando se realiza la compensación directa en bornes del motor, se genera un flujo de corrientes capacitivas a través del estator que producen un campo magnético rotatorio en el rotor que actúa a lo largo del mismo eje y en la misma dirección que el campo magnético decreciente.

En consecuencia el flujo del rotor aumenta, las corrientes del estator aumentan y la tensión en los terminales del motor aumenta, pasando por lo tanto a funcionar como generador asíncrono. Este fenómeno se conoce como la autoexcitación. Para el caso de Harinera del valle, se cuenta con grandes turbinas que al parar quedan con una gran inercia, que me va a generar este fenómeno.

5.3.2 Cómo evitar la autoexcitación. Limitando la potencia de compensación. El fenómeno de la autoexcitación puede evitarse limitando la potencia de los condensadores fijos instalados en bornes del motor, de tal manera que la intensidad reactiva suministrada sea inferior a la necesaria para provocarla, haciendo que el valor de la intensidad de los condensadores sea inferior al valor de la intensidad en vacío del motor. El valor máximo de potencia reactiva a instalar se calculará de la siguiente forma:

$$Q_M = 0.9 \cdot I_0 \cdot U_n \cdot \sqrt{3}$$

dónde:

Q_M = potencia fija máxima a instalar (var)

I_0 = intensidad en vacío del motor

U_n = tensión nominal (V)

- Otra manera para evitar la autoexcitación es la compensación fija accionada por contactor⁸.

⁸Ibíd., Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>

El cuadro 14. Muestra la máxima potencia reactiva a instalar en bornes de un motor trifásico 220/440 V, sin riesgo de autoexcitación

Cuadro 154. Máxima potencia reactiva.

P nominal del motor		potencia en kVAr a instalar			
		velocidad de rotación (rpm)			
kW	HP	3600	1800	1200	900
11	14.7	2.5	2.5	2.5	5
18	24.1	5	5	7.5	7.5
30	40.2	7.5	10	11	12.5
45	60.3	11	13	14	17
55	73.7	13	17	18	21
75	100.5	17	22	25	28
90	120.6	20	25	27	30
110	147.4	24	29	33	37
132	176.9	31	36	38	43
160	214.4	35	41	44	52
200	268.1	43	47	53	61

Fuente: Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>.

5.4 COMPENSACIÓN FIJA ACCIONADA POR CONTACTOR

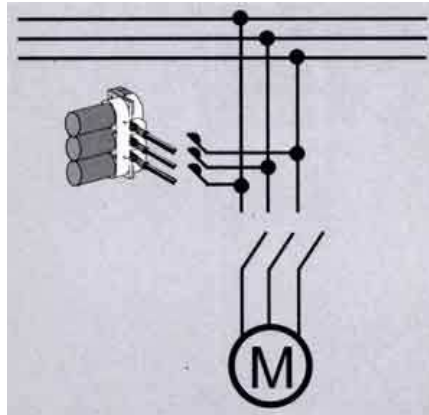
5.4.1 Conexiones. Este sistema permite evitar el riesgo de sobreexcitación de los motores, compensando por lo tanto la totalidad de la potencia reactiva necesaria. La instalación se debe realizar siempre aguas arriba del dispositivo de mando y protección del motor. El contactor del condensador deberá ir enclavado con el dispositivo de protección del motor de manera que cuando el motor sea o bien desconectado, o bien provocada la apertura de su dispositivo de protección, el condensador debe quedar fuera de servicio.

5.4.2 Cálculo de la potencia a instalar. En este caso y habiendo evitado el riesgo de autoexcitación, el cálculo se realiza de la misma manera que para cualquier carga, la conexión del condensador se ilustra en la figura 14.

$$Q = P \times (tg \, j \, inicial - tg \, j \, objetivo)$$

Siendo: P = potencia activa del motor (kW).

Figura 14. Conexión de un condensador a un motor a través de un contactor



Fuente: Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>.

5.4.2.1 Elección del contactor adecuado. El proceso de la conexión de un condensador. Los condensadores forman, con los circuitos a cuyas bornes están conectados, circuitos oscilantes que pueden producir en el momento de la conexión corrientes transitorias de elevada intensidad ($> 180 I_n$) y de frecuencias elevadas (de 1 a 15 kHz). Para solucionar este problema sin tener que acudir a contactores extraordinariamente sobredimensionados se aumentaba la inductancia de la línea con el acoplamiento en serie de inductancias de choque.

5.4.2.2 Contactor diseñado para el mando de condensadores. Los contactores Telemecanique modelo LC1-D.K. están equipados con un bloque de contactos adelantados y con resistencias de preinserción que limitan el valor de la corriente en la conexión a $60 I_n$. El diseño patentado del aditivo garantiza la limitación de la corriente de conexión con lo que aumenta la durabilidad de los componentes de la instalación y en particular la de los fusibles y condensadores. Los contactores LC1-D.K. se incorporan en todas las baterías automáticas Merlin Gerin, el cuadro 15 nos indica el contactor de acuerdo a la capacidad.

Cuadro 165. Contactor diseñado para el mando de condensadores

220 V		440 V	
kVAr		kVAr	Contactor
6.7		12.5	LC1-DFK11..
8.5		16.7	LC1-DGK11.
10		20	LC1-DLK11.
15		25	LC1-DMK11.
20		33.3	LC1-DPK11..
25		40	LC1-DTK12..
40		60	LC1-DWK12..

Fuente: Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>.

5.5 SIGNIFICADO TÉCNICO-ECONÓMICO

El factor de potencia tiene un importante significado técnico-económico debido a que de su magnitud dependen, en cierta medida, los gastos de capital y explotación, así como el uso efectivo de los equipos de las instalaciones eléctricas. En la transmisión de la energía las pérdidas desempeñan un elemento fundamental, y para disminuirlas se debe tener en cuenta, mejorar el factor de potencia.

El método más factible para disminuir las pérdidas de energía eléctrica de las instalaciones es proteger o aumentar el factor de potencia existente⁹.

6. ESTIMACIÓN DE POTENCIALES DE AHORRO EN MOTORES ELÉCTRICOS DE HARINERA DEL VALLE

En este capítulo se presentan las diferentes metodologías utilizada para estimar los potenciales de ahorro en los motores de Harinera del Valle.

⁹ Ibíd., Disponible en Internet:
<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>.

Inicialmente se realizó un inventario de todos los motores de la planta, tomando datos de las placas de los mismos, se hacen mediciones de tensiones, corrientes, RPM, se introducen datos en cuadros y se plasma un pareto para identificar el 80/20 en cuanto a motores de la empresa, de este pareto salen todas los cuadros que a continuación se van enumerando, donde además se ingresan datos de factor de potencia, corriente promedio, potencia de entrada promedio, factor de carga, eficiencias que se sacan de acuerdo a marca del motor, fecha de fabricación, modelo, etc.

Con toda esta información se toman diferentes métodos para evaluar potenciales de ahorro dentro de la planta los métodos son los que a continuación se nombran, pero primero van las tablas de datos registrados.

6.1 MEDICIONES ELÉCTRICAS EN LOS MOTORES DE HARINERA DEL VALLE

6.1.1 Mediciones realizadas en motores línea 1 de producción pastas

(Ver cuadros 16 y 17 páginas siguientes). Mediciones realizadas en la planta pastas la muñeca, línea 1 y 2.

Cuadro 16. Mediciones realizadas en motores línea 1 de producción pastas

MOTORES LINEA 1													
NOMBRE DEL EQUIPO	KW	HP	AMP	RPM	R	S	T	VOLT	F.P.	I.PROM	P/IN.PROM	EFIC Placa	F.CARGA
ROSCA DE PRENSA 1	53,0	71,05	87,0	1780	41,3	44,0	45,0	440	0,83	43,4	27,16	93,0	26,5
ROSCA DE PRENSA 2	53,0	71,05	87,0	1780	44,0	46,0	41,0	440	0,83	43,7	27,31	93,0	26,7
MEZCLADOR PRINCIPAL	11,00	14,75	20,7	1750	10,0	12,0	11,0	440	0,76	11,0	6,30	88,4	28,2
BOMBA DEL VACIO	7,50	10,05	14,0	1740	11,2	12,2	12,6	440	0,76	12,0	6,87	87,0	44,4
VENTIL.DESMENUADOR	7,50	10,05	12,7	3505	7,5	7,8	7,3	440	0,89	7,5	5,05	87,0	32,6
VENTIL.RECORTES	6,6	8,85	8,7	3480	6,5	6,5	7,0	440	0,88	6,7	4,42	87,0	32,4
MEZCLADOR RAPIDO	5,50	7,37	10,7	1160	9,5	9,0	9,3	440	0,78	9,3	5,45	85,7	47,2
CORTADORA	4,6	6,17	8,2	3485	7,0	7,5	7,5	440	0,87	7,3	4,81	85,7	49,8
VENTIL DE ASPIRACION	4,00	5,36	7,0	3505	3,6	4,0	3,6	440	0,87	3,7	2,45	84,2	28,7
VENTIL.DEL MOLDE	4,00	5,36	7,0	3505	6,0	5,7	4,8	440	0,89	5,5	3,69	84,2	43,2
VENTIL.DEL MOLDE	4,00	5,36	7,0	3505	5,6	5,0	5,0	440	0,89	5,2	3,49	84,2	40,8
VENTIL. TRANSVERSAL	4,00	5,36	7,9	1735	4,4	4,8	4,6	440	0,79	4,6	2,74	84,2	32,1
VENTIL.EVACUACION	3,6	4,83	7,6	3510	5,0	5,2	5,2	440	0,84	5,1	3,25	84,2	42,3
MEZCLADORA AL VACIO	3,00	4,02	6,2	1710	3,3	3,6	3,6	440	0,78	3,5	2,06	82,6	31,5
BOMBA HIDRAULICA	3,00	4,02	6,2	3420	4,3	4,5	4,7	440	0,90	4,5	3,05	82,6	46,8
VENTIL.AIRE.FRESCO.Z1	2,2	2,95	4,3	3420	1,9	2,3	2,2	440	0,9	2,1	1,45	81,0	29,6
VENTIL.ASPIRADOR.Z1	2,2	2,95	4,3	3420	2,7	3,2	3,0	440	0,9	3,0	2,01	81,0	41,2
VENTIL.DESMENUZADOR	2,2	2,95	3,85	3450	2,6	2,8	2,9	440	0,88	2,8	1,83	81,0	37,6
CADENA EXTRACTORA	1,8	2,41	2,7	1716	1,2	1,2	1,2	440	0,9	1,2	0,81	81,0	20,4
VENTIL.DE.CIRCULACION	1,75	2,35	3,4	3460	2,7	2,9	2,8	440	0,82	2,8	1,73	81,0	44,6
VENTIL.CIRCUL.Z1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,4	2,2	440	0,91	2,2	1,53	80,0	42,6
VENTIL.CIRCUL.Z1.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,5	2,4	440	0,91	2,4	1,65	80,0	45,8
VENTIL.CIRCUL.Z1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,6	2,8	2,6	440	0,91	2,7	1,83	80,0	50,9
VENTIL.CIRCUL.Z1.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,4	2,2	440	0,91	2,3	1,55	80,0	43,2
VENTIL.CIRCUL.Z2/1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,5	2,3	440	0,91	2,4	1,62	80,0	45,2
VENTIL.CIRCUL.Z2/1.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,4	2,2	440	0,91	2,3	1,55	80,0	43,2
VENTIL.CIRCUL.Z2/1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,2	2,3	440	0,91	2,2	1,51	80,0	42,0
VENTIL.CIRCUL.Z2/1.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,2	2,4	440	0,91	2,3	1,58	80,0	43,9
VENTIL.CIRCUL.Z2/2.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,1	2,2	440	0,91	2,2	1,49	80,0	41,3
VENTIL.CIRCUL.Z2/2.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,4	2,4	2,2	440	0,91	2,3	1,60	80,0	44,5
VENTIL.CIRCUL.Z2/2.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,2	2,3	440	0,91	2,2	1,53	80,0	42,6

Cuadro 16. (Continuación).

MOTORES LINEA 1													
NOMBRE DEL EQUIPO	KW	HP	AMP	RPM	R	S	T	VOLT	F.P.	I.PROM	P/IN.PROM	EFIC Placa	F.CARGA
VENTIL.CIRCUL.Z2/2.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,3	2,2	440	0,91	2,2	1,51	80,0	42,0
VENTIL.CIRCUL.Z3/1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,2	2,1	440	0,91	2,2	1,51	80,0	42,0
VENTIL.CIRCUL.Z3/1.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,2	2,2	440	0,91	2,2	1,49	80,0	41,3
VENTIL.CIRCUL.Z3/1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,5	2,4	2,5	440	0,91	2,5	1,69	80,0	47,1
VENTIL.CIRCUL.Z3/1.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,3	2,2	440	0,91	2,2	1,53	80,0	42,6
VENTIL.CIRCUL.Z3/2.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,4	2,2	2,4	440	0,91	2,3	1,60	80,0	44,5
VENTIL.CIRCUL.Z3/2.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,3	2,1	440	0,91	2,2	1,51	80,0	42,0
VENTIL.CIRCUL.Z3/2.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,3	2,2	440	0,91	2,3	1,55	80,0	43,2
VENTIL.CIRCUL.Z3/2.DER	1,6	2,14	3,3	2910	2,4	2,5	2,3	440	0,91	2,4	1,65	80,0	45,8
VENTIL.CIRCUL.Z4/1IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,4	2,4	440	0,89	2,4	1,61	80,0	44,8
VENTIL.CIRCUL.Z4/1.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,2	2,2	2,2	440	0,89	2,2	1,48	80,0	41,0
VENTIL.CIRCUL.Z4/2.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,2	2,3	2,4	440	0,89	2,3	1,54	80,0	42,9
VENTIL.CIRCUL.Z4/2.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,3	2,3	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5
VENTIL.CIRCUL.Z4/3.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,2	2,2	2,1	440	0,89	2,2	1,45	80,0	40,4
VENTIL.CIRCUL.Z4/3.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,4	2,4	440	0,89	2,3	1,54	80,0	42,9
VENTIL.CIRCUL.Z5/1.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,3	2,3	440	0,89	2,3	1,54	80,0	42,9
VENTIL.CIRCUL.Z5/1.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,2	2,4	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5
VENTIL.CIRCUL.Z5/2.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,5	2,5	2,3	440	0,89	2,4	1,63	80,0	45,4
VENTIL.CIRCUL.Z5/2.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,1	2,2	440	0,89	2,1	1,43	80,0	39,8
VENTIL.CIRCUL.Z5/3.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,4	2,2	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5
VENTIL.CIRCUL.Z5/3.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,2	2,2	2,2	440	0,89	2,2	1,48	80,0	41,0
VENTIL.CIRCUL.Z6/1.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,2	2,2	440	0,91	2,2	1,51	80,0	42,0
VENTIL.CIRCUL.Z6/1.DER	1,6	2,14	3,2	2910	2,3	2,4	2,2	440	0,91	2,3	1,58	80,0	43,9
VENTIL.CIRCUL.Z6/2.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,2	2,5	440	0,91	2,3	1,58	80,0	43,9
VENTIL.CIRCUL.Z6/2.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,4	2,4	440	0,91	2,4	1,62	80,0	45,2
VENTIL.CIRCUL.Z6/3.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,2	2,2	440	0,89	2,2	1,45	80,0	40,4
VENTIL.CIRCUL.Z6/3.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,2	2,3	2,3	440	0,89	2,3	1,52	80,0	42,3
VENTIL.CIRCUL.Z6/4.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,4	2,2	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5
VENTIL.CIRCUL.Z6/4.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,3	2,3	440	0,89	2,2	1,50	80,0	41,7
VENTIL.CIRCUL.Z6/5.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,5	2,5	440	0,89	2,4	1,63	80,0	45,4
VENTIL.CIRCUL.Z6/5.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,3	2,3	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5

Cuadro 16. (Continuación).

MOTORES EN LÍNEA 1													
NOMBRE DEL EQUIPO	KW	HP	AMP	RPM	R	S	T	VOLT	F.P.	I.PROM	P/IN.PROM	EFIC Placa	F.CARGA
VENTIL.CIRCUL.Z6/6.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,1	2,2	440	0,89	2,1	1,43	80,0	39,8
VENTIL.CIRCUL.Z6/6.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,5	2,3	2,5	440	0,89	2,4	1,63	80,0	45,4
VENTIL.CIRCUL.Z6/7.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,3	2,5	440	0,89	2,4	1,61	80,0	44,8
VENTIL.CIRCUL.Z6/7.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,3	2,3	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5
VENTIL.CIRCUL.Z6/8.IZQ	1,6	2,14	2,8	3510	2,3	2,3	2,1	440	0,91	2,2	1,53	80,0	42,6
VENTIL.CIRCUL.Z6/8.DER	1,6	2,14	2,8	3510	2,5	2,5	2,5	440	0,91	2,5	1,71	80,0	47,7
VENTIL.CIRCUL.Z7/1.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,5	2,6	440	0,89	2,5	1,65	80,0	46,0
VENTIL.CIRCUL.Z7/1.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,5	2,5	440	0,89	2,4	1,63	80,0	45,4
VENTIL.CIRCUL.Z7/2.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,3	2,4	440	0,89	2,3	1,52	80,0	42,3
VENTIL.CIRCUL.Z7/2.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,1	2,1	440	0,89	2,2	1,48	80,0	41,0
VENTIL.CIRCUL.Z8/1.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,2	2,2	440	0,89	2,2	1,50	80,0	41,7
VENTIL.CIRCUL.Z8/1.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,4	2,2	440	0,89	2,3	1,56	80,0	43,5
VENTIL.CIRCUL.Z8/2.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,3	2,2	440	0,89	2,3	1,52	80,0	42,3
VENTIL.CIRCUL.Z8/2.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,3	2,4	2,2	440	0,89	2,3	1,54	80,0	42,9
VENTIL.CIRCUL.Z9.IZQ	1,6	2,14	2,75	1730	2,1	2,2	2,1	440	0,89	2,1	1,43	80,0	39,8
VENTIL.CIRCUL.Z9.DER	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,4	2,3	440	0,89	2,4	1,59	80,0	44,2
VENTIL.AIRE.FRESCO.Z2	1,5	2,01	3,2	3415	1,6	1,9	1,2	440	0,9	1,6	1,06	78,5	30,9
VENTIL.ASPIRADOR.Z2	1,5	2,01	3,2	3415	2,0	2,1	2,0	440	0,9	2,0	1,38	78,5	40,2
ESCLUSA	1,5	2,01	3,2	3460	1,7	1,9	1,8	440	0,87	1,8	1,18	78,5	34,4
ACCIONAMIENTO SECADOR	1,10	1,47	2,5	1680	1,5	1,4	1,5	440	0,78	1,5	0,86	76,2	33,2
VENTIL.CTO.CERADO.Z6	1,1	1,47	2,5	3500	1,4	1,6	1,5	440	0,9	1,5	1,02	76,2	39,2
ACCIONAMIENTO ACUMULO	1,1	1,47	2,5	1670	2,5	2,5	2,2	440	0,8	2,4	1,45	76,2	55,8
TRANSP.VARILLAS	0,90	1,21	2,0	1640	1,1	1,3	1,3	440	0,78	1,2	0,72	76,2	34,2
CANAL DE VIBRACION	0,9	1,21	2,1	1705	1,1	1,2	1,4	440	0,77	1,2	0,72	76,2	33,7
MSDA HEPP	0,75	1,01	1,9	1656	1,7	1,8	1,8	440	0,75	1,8	1,00	76,2	56,4
DOSIFICADOR AGUA	0,75	1,01	1,5	1710	1,5	1,5	1,6	440	0,75	1,5	0,87	76,2	49,0
ESCLUSA DE VACIO	0,75	1,01	1,9	1710	1,1	1,2	1,3	440	0,76	1,2	0,69	76,2	38,9
CORTADOR ARRIBA	0,75	1,01	1,9	1656	1,0	1,1	1,1	440	0,73	1,1	0,59	76,2	33,2
CORTADOR BAJO	0,75	1,01	1,8	3240	1,2	1,3	1,4	440	0,86	1,3	0,84	76,2	47,6
BOMBA.CIRCUL.Z3	0,75	1,01	2,2	1400	1,0	1,0	1,0	440	0,82	1,0	0,63	76,2	35,4

Fuente: El autor, archivo de computador.

Cuadro 17. Mediciones realizadas en motores línea 2 de producción pastas

MOTORES LINEA 2													
DESCRIPCION MOTOR	KW	HP	Placa	RPM	R	S	T	Volt	F.P.	I.PROM	P/IN	EFIC1	F.CARGA
Rosca de prensa	65	87,13	109	1180	86	82	84	440	0,84	84,0	53,2	93,9	76,8
Mezcladora intensiva	42	56,30	70	1775	50	49	60	440	0,84	53,0	33,5	93,0	74,3
Bomba de vacio	5,5	7,37	10,5	1740	8,7	8,2	8,5	440	0,84	8,5	5,4	87,0	84,8
Ventilador de .circul. Aire frio	3,58	4,80	9,3	1690	8,4	9	8,6	440	0,84	8,7	5,5	85,7	131,3
Bomba hidráulica	3	4,02	6,7	1435	2	2,3	2,2	440	0,84	2,2	1,4	84,2	38,5
Ventilador del molde	2,6	3,49	4	3485	1,1	1,6	1,3	440	0,88	1,3	0,9	84,2	28,6
Ventilador aspirador	2,2	2,95	4,5	1725	2,9	3,1	3	440	0,84	3,0	1,9	82,6	71,3
Ventilador aire fresco	2,2	2,95	4,3	3420	1,8	2	2,2	440	0,8	2,0	1,2	82,6	45,3
Ventilador aspirador	2,2	2,95	4,3	3420	1,7	1,9	2,1	440	0,8	1,9	1,1	82,6	43,0
Ventilador de circulación	1,6	2,14	2,75	1730	2,6	2,4	2,5	440	0,89	2,5	1,7	81,0	84,9
Ventilador de circulación	1,6	2,14	2,75	1730	2,6	2,5	2,4	440	0,89	2,5	1,7	81,0	84,9
Ventilador de circulación	1,6	2,14	2,75	1730	2,5	2,6	2,3	440	0,89	2,5	1,7	81,0	83,7
Ventilador de circulación	1,6	2,14	2,75	1730	2,4	2,5	2,3	440	0,89	2,4	1,6	81,0	81,5
Ventilador de circulación	1,6	2,14	2,75	1730	2,5	2,5	2,4	440	0,89	2,5	1,7	81,0	83,7
Ventilador de circulación der	1,6	2,14	2,8	3510	1,8	2	2,2	440	0,91	2,0	1,4	81,0	69,4
Ventilador de circulación izq	1,6	2,14	2,8	3510	2	2	2,2	440	0,9	2,1	1,4	81,0	70,9
Ventilador de circulación izq	1,6	2,14	2,8	3510	1,9	1,9	2,1	440	0,9	2,0	1,3	81,0	67,5
Ventilador de circulación der	1,6	2,14	2,8	3510	2	2	2,2	440	0,9	2,1	1,4	81,0	70,9
Ventilador de circulación der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,1	2,3	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4

Cuadro 17. (Continuación).

MOTORES LINEA 2													
DESCRIPCION MOTOR	KW	HP	Placa	RPM	R	S	T	Volt	F.P.	I.PROM	P/IN	EFIC1	F.CARGA
Ventilador de circulacionizq	1,6	2,14	2,8	3510	2	2	2,3	440	0,9	2,1	1,4	81,0	72,1
Ventilador de circulacionizq	1,6	2,14	2,8	3510	2	2,1	2,3	440	0,9	2,1	1,4	81,0	73,2
Ventilador de circulacion der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,1	2,3	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventilador de circulacion der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,1	2,3	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventilador de circulacionizq	1,6	2,14	2,8	3510	2	2	2,3	440	0,9	2,1	1,4	81,0	72,1
Ventilador de circulacionizq	1,6	2,14	2,8	3510	2	2	2,1	440	0,9	2,0	1,4	81,0	69,8
Ventilador de circulacion der	1,6	2,14	2,8	3510	2	2	2,2	440	0,9	2,1	1,4	81,0	70,9
Ventilador de circulacion der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,1	2,3	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventilador de circulacionizq	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2	2,3	440	0,9	2,1	1,4	81,0	73,2
Ventil.circul. Der	1,6	2,14	2,8	3510	1,5	1,8	1,9	440	0,91	1,7	1,2	81,0	60,2
Ventil.circul.izq	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,3	2,1	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventil.circul der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,3	2,1	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventil.circul. Der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,3	2,1	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventil.circul.izq	1,6	2,14	2,8	3510	2,2	2,4	2,2	440	0,9	2,3	1,5	81,0	77,8
Ventil.circul.der	1,6	2,14	2,8	3510	2	2,2	2	440	0,91	2,1	1,4	81,0	71,7

Cuadro 17. (Continuación).

MOTORES LINEA 2													
DESCRIPCION MOTOR	KW	HP	Placa	RPM	R	S	T	Volt	F.P.	I.PROM	P/IN	EFIC1	F.CARGA
Ventil.circul.izq	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,3	2,1	440	0,9	2,2	1,5	81,0	74,4
Ventil.circul. Der	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,3	2,1	440	0,91	2,2	1,5	81,0	75,2
Ventil.circul. Izq	1,6	2,14	2,8	3510	2,1	2,2	2,1	440	0,91	2,1	1,5	81,0	74,0
Cortador accionamiento	1,5	2,01	3,2	1692	1,4	1,6	1,6	440	0,81	1,5	0,9	81,0	50,5
Ventil. Aspirador	1,5	2,01	2	3415	1,3	1,3	1,3	440	0,9	1,3	0,9	78,5	46,1
Válvula de ventilación	1,5	2,01	2,8	3460	1,7	1,8	1,8	440	0,87	1,8	1,2	78,5	60,6
Elevador canjilones	1,1	1,47	2,6	1130	1,1	1,2	1,1	440	0,75	1,1	0,6	78,5	45,7
Elevador final	1,1	1,47	2,6	1130	2	2,1	2	440	0,73	2,0	1,1	78,5	79,8
Ventil.circul.cerrado	1,1	1,47	2,8	3430	2,1	2,1	2	440	0,85	2,1	1,3	78,5	94,5

Fuente: El autor, archivo de computador.

6.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR POTENCIALES DE AHORRO EN LOS MOTORES DE HARINERA DEL VALLE

6.2.1 Cálculo de ahorro por sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia. Considerando que todos los motores de la planta son de eficiencia estándar y cuentan con una antigüedad alrededor de 15 años de funcionamiento, para la evaluación del impacto económico se tomó como referencia el año de fabricación, marca y potencia. Lo anterior con el fin de conocer la eficiencia de placa de los motores y realizar la comparación con la sustitución del motor por alta eficiencia, en el cuadro 18 se tiene la tabla de cálculo.

En este caso se analizaron los motores que son de mayor impacto en el consumo energético de la empresa. En la siguiente tabla se muestra el cálculo y se determina el beneficio económico y el tiempo de retorno de la inversión, para más información remitirse al numeral 4.4, página 45, de la presente tesis.

Cuadro 18. Tabla de cálculo Empresa SIL. Cálculo ahorro anual. Soporte a la ingeniería General Electric

Consideraciones financieras para usar Motores ENERGY SAVER.

$$S = 0.746 \times HP \times L \times C \times N \times (100/Ea - 100/Eb)$$

Y= Numero de Años para la evaluación

L = % load/100 (100/100)

C = Costo de la energía \$/kWh

N = Horas/Años Tiempo de operación

Eb = Eficiencia del motor Energy Saver

Ea = Eficiencia estándar de un motor

HP = Potencia del Motor

Variables

3

0,76

---> 1 Si motor se carga a potencia Nominal

230

---> Costo del \$/Kwh

8712

---> Número de Horas de trabajo al Año

93,9

---> Eficiencia del Nuevo Motor

88

---> Eficiencia del Viejo Motor

87,13

---> Rango de Potencia para ambos motores

S= \$ 7.067.561

----->

Ahorro anual con un Motor EnergySaver

Costo de operación anual del Motor

$$CA = 0.746 \times HP \times L \times C \times N$$

CA= \$ 98.984.191

----->

Costo anual de operación

187

42895

375760200

Análisis del ciclo de vida

$$LCS = 0.746 \times HP \times L \times C \times N \times Y \times (100/Ea - 100/Eb)$$

LCS= \$ 21.202.684

----->

Ahorro en el ciclo de vida con la actualización del Motor.

Fuente: SIL, archivo de computador.

Variables; Y, L, C, N, Eb, Ea, HP, S, CA, LCS. Definición en el Cuadro.

La información de este Cuadro indica el ahorro anual, el mismo se compara con el costo del motor nuevo. La sumatoria de costos determina el tiempo de recuperación de la inversión.

La anterior tabla de cálculo, se toma de modelo de la empresa SIL (Soporte a la ingeniería), la cual utilizan para soportar la venta de sus motores de alta eficiencia "Consideraciones financieras para el uso de Motores ENERGY SAVER".

Con los datos obtenidos se construye el siguiente cuadro 19, donde se tiene ahorro anual, que se compara con el costo del motor nuevo y la sumatoria de costos nos determina el tiempo de recuperación de la inversión. Las eficiencias viejas se toman de acuerdo a la marca y fecha de fabricación del motor, pues estos no tienen en placa la eficiencia.

Cuadro19. Cálculo ahorro energético en el tiempo

NOMBRE	HP	EFIC VIEJA	EFIC NUEVA	AHORRO %	COSTO MOTOR
Rosca de prensa I.2	87,13	93,5	95,0	\$ 1.984.932	\$ 6.303.000
Rosca de prensa 1 I.1	71,0	93,3	95,0	\$ 1.837.062	\$ 5.385.600
Rosca de prensa 2 I.1	71,0	93,3	95,0	\$ 1.837.062	\$ 5.385.600
Mezcladora intensiva I.2	56,30	93,0	94,5	\$ 1.296.304	\$ 4.764.600
Turbina martillo remolida	50,0	93,0	94,5	\$ 1.151.246	\$ 3.726.540
Compresor uh 50	50,0	93,0	94,5	\$ 1.151.246	\$ 3.290.220
Soplante materia prima	40,2	92,5	94,0	\$ 935.555	\$ 3.290.220
Compresor uh 40	40,0	92,5	94,0	\$ 935.555	\$ 2.388.900
Compresor 1 chiller pastas	30,0	92,0	94,0	\$ 935.960	\$ 2.388.900
Compresor 2 chiller pastas	30,0	92,0	94,0	\$ 935.960	\$ 2.388.900
Bomba lavamoldes	28,2	92,0	94,0	\$ 935.960	\$ 2.388.900
Compresor sullair	24,0	91,4	93,5	\$ 795.600	\$ 1.977.480
Bomba agua fria 1 caldera	20,1	90,5	92,6	\$ 679.481	\$ 1.609.740
Bomba agua fria 2 caldera	20,1	90,5	92,6	\$ 679.481	\$ 1.609.740
Banco remolida	20,0	90,5	92,6	\$ 679.481	\$ 1.609.740
Turbina remolida	20,0	90,5	92,6	\$ 679.481	\$ 1.609.740
Mezclador principal I.1	14,7	90,0	92,2	\$ 525.761	\$ 1.063.980
Ventilador caldera	10,1	89,4	91,8	\$ 398.450	\$ 8.851.800
Bomba del vacio I.1	10,1	89,4	91,8	\$ 398.450	\$ 8.851.800
Ventil.desmenuador I.1	10,1	89,4	91,8	\$ 398.450	\$ 8.851.800

Cuadro 19. (Continuación).

NOMBRE	HP	EFIC VIEJA	EFIC NUEVA	AHORRO %	COSTO MOTOR
Ventil.recortes l.1	8,8	88,4	91,0	\$ 383.693	\$ 738.660
Mezclador rapido l.1	7,4	87,0	90,1	\$ 394.795	\$ 738.660
Bomba de vacio l.2	7,37	87,0	91,0	\$ 394.795	\$ 738.660
Cortadora l.1	6,2	87,0	91,0	\$ 330.774	\$ 642.240
Ventil de aspiracion l.1	5,4	85,7	89,2	\$ 333.532	\$ 552.840
Ventil.evacuacion l.1	4,8	85,7	89,2	\$ 296.473	\$ 552.840
Mezcladora al vacio l.1	4,0	84,2	88,3	\$ 297.573	\$ 491.460
Bomba hidráulica l.1	4,02	84,2	88,3	\$ 297.573	\$ 491.460
Ventilador del molde	3,49	84,2	88,3	\$ 260.376	\$ 441.600
Ventilador aspirador	2,95	82,6	87,4	\$ 269.087	\$ 441.600
Ventil.aire.fresco.z1	2,9	82,6	87,4	\$ 269.087	\$ 441.600
Cadena extractora	2,4	82,6	87,4	\$ 215.270	\$ 414.180
Ventil.decirculacion	2,3	82,6	87,4	\$ 215.270	\$ 414.180
Ventil.circul.z1.izq	2,1	81,0	86,4	\$ 218.593	\$ 373.200
Ventilador de circulación	2,14	81,0	86,4	\$ 218.593	\$ 373.200
Esclusa	2,0	81,0	86,4	\$ 208.184	\$ 373.200
Cortador accionamiento	2,01	81,0	86,4	\$ 208.184	\$ 373.200
Accionamiento secador	1,5	78,5	85,0	\$ 197.123	\$ 323.940
Elevador canjilones	1,47	78,5	85,0	\$ 197.123	\$ 323.940
Totales	756,5			\$ 24.377.575	\$ 86.977.860
Recupera inversión				3,6	AÑOS

Fuente: El autor, archivo de computador.

La recuperación de la inversión se daría en 3.6 Años, y quedan motores de alta eficiencia y menor consumo energético, en el consumo energético es que se recupera la inversión inicial de la compra de motores de alta eficiencia. El cálculo se realizó de manera global con todos los motores, no es individual. Después de este periodo, siguen los ahorros energéticos de por vida, y se puede aplicar fácilmente al resto de motores de la empresa, para seguir adelante con la eficiencia energética.

6.2.2 Potencial de ahorro por evaluación del factor de carga. Teniendo en cuenta las mediciones realizadas se calculó el factor de carga de los motores utilizando la siguiente ecuación¹⁰.

$$\% FC = (KwEntrada * Eficiencia) / (Potencia HP * 0.746)$$

$$KwEntrada = (\sqrt{3} V Prom I Prom \cos \phi) / 1000$$

¹⁰ Ibíd. Disponible en <http://www.bunca.org/publicaciones/fasciculos/espanol/FasciculoMotores.pdf>.

Como se indicó en las expresiones anteriores, la potencia de entrada puede ser medida en forma directa o indirecta.

En el caso de la medición directa lo más recomendable es utilizar un analizador de redes trifásico o una pinza amperimétrica digital con funciones de analizador.

Con él % Factor de carga (FC), cuadro 20, y las características del fabricante, se puede precisar que equipos, son viables u óptimos candidatos para reevaluar su capacidad, por una más pequeña.

Cuadro 20. Factor de Carga de los motores

NOMBRE	HP	AMP	RPM	R	S	T	VOLT	F.P.	I.PROM	P/IN.PROM	EFIC	F.CARGA
Compresor uh 50	50,0	62,0	1780	67,0	68,0	65,0	440	0,84	66,7	42,19	92,5	104,6
Compresor uh 40	40,0	62,0	1740	53,0	55,0	52,0	440	0,84	53,3	33,75	92,0	104,1
Ventilador caldera	10,1	16,0	3450	12,1	12,5	12,0	440	0,87	12,2	8,00	88,4	93,8
Ventil.circul.z1.izq	2,1	2,8	3510	2,6	2,8	2,6	440	0,91	2,7	1,83	81,0	92,6
Soplante materia prima	40,2	52,0	1780	48,0	47,0	46,0	440	0,84	47,0	29,75	92,5	91,7
Cortadora l.1	6,2	8,2	3485	7,0	7,5	7,5	440	0,87	7,3	4,81	85,7	89,6
Mezclador rapido l.1	7,4	10,7	1160	9,5	9,0	9,3	440	0,78	9,3	5,45	85,7	84,9
Bomba de vacio l.2	7,37	10,5	1740	8,7	8,2	8,5	440	0,84	8,5	5,36	87,0	84,8
Bomba hidraulica l.1	4,02	6,2	3420	4,3	4,5	4,7	440	0,90	4,5	3,05	82,6	84,0
Comprsor 2 chiller pastas	30,0	42,0	1780	33,0	32,0	31,0	440	0,84	32,0	20,25	91,4	82,7
Ventil.de.circulacion	2,3	3,4	3460	2,7	2,9	2,8	440	0,82	2,8	1,73	81,0	80,1
Bomba del vacio l.1	10,1	14,0	1740	11,2	12,2	12,6	440	0,76	12,0	6,87	87,0	79,7
Turbina martillo remolida	50,0	62,0	3554	48,0	50,0	49,5	440	0,85	49,2	31,49	92,5	78,1
Rosca de prensa l.2	87,1	109	1180	86	82	84	440	0,84	84,0	53,16	93,9	76,8
Turbina remolida	20,0	25,0	1755	19,0	20,0	20,0	440	0,85	19,7	12,59	90,5	76,4
Ventil.evacuacion l.1	4,8	7,6	3510	5,0	5,2	5,2	440	0,84	5,1	3,25	84,2	76,0
Compresor sullair	24,0	31,0	1760	22,0	23,0	24,0	440	0,86	23,0	14,90	90,5	75,3
Mezcladora intensiva l.2	56,30	70	1775	50,0	49,0	60,0	440	0,84	53,0	33,54	93,0	74,3
Ventil.aire.fresco.z1	2,9	4,3	3420	2,7	3,2	3,0	440	0,90	3,0	2,01	81,0	74,1
Compresor 1 chiller pastas	30,0	42,0	1780	27,0	28,0	27,0	440	0,84	27,3	17,30	91,4	70,6
Elevador canjilones	1,47	2,6	1680	1,6	1,5	1,5	440	0,78	1,5	0,90	76,2	62,6
Esclusa	2,0	3,2	3460	1,7	1,9	1,8	440	0,87	1,8	1,18	78,5	61,7
Accionamiento secador	1,5	2,5	1680	1,5	1,4	1,5	440	0,78	1,5	0,86	76,2	59,7
Ventil.desmenuzador l.1	10,1	12,7	3505	7,5	7,8	7,3	440	0,89	7,5	5,05	87,0	58,6
Ventil.recortes l.1	8,8	8,7	3480	6,5	6,5	7,0	440	0,88	6,7	4,42	87,0	58,3
MEZCLADORA AL VACIO L.1	4,0	6,2	1710	3,3	3,6	3,6	440	0,78	3,5	2,06	82,6	56,6
VENTILADOR ASPIRADOR	2,95	4,3	3420	1,9	2,3	2,2	440	0,90	2,1	1,45	81,0	53,2
VENTIL DE ASPIRACIÓN L.1	5,4	7,0	3505	3,6	4,0	3,6	440	0,87	3,7	2,45	84,2	51,5
BOMBA AGUA FRÍA 1 CALDERA	20,1	27,6	1780	13,3	13,4	13,2	440	0,84	13,3	8,42	90,5	50,8

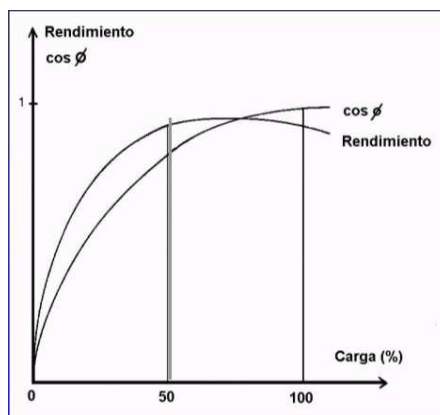
Cuadro 20. (Continuación).

NOMBRE	HP	AMP	RPM	R	S	T	VOLT	F.P.	I.PROM	P/IN.PROM	EFIC	F.CARGA
Mezclador Principal L.1	14,7	20,7	1750	10,0	12,0	11,0	440	0,76	11,0	6,30	88,4	50,6
Cortador accionamiento	2,01	3,2	1692	1,4	1,6	1,6	440	0,81	1,5	0,94	81,0	50,5
Rosca de prensa 2 l.1	71,0	87,0	1780	44,0	46,0	41,0	440	0,83	43,7	27,31	93,0	47,9
Rosca de prensa 1 l.1	71,0	87,0	1780	41,3	44,0	45,0	440	0,83	43,4	27,16	93,0	47,7
Banco remolida	20,0	30,0	1176	12,0	12,5	12,7	440	0,76	12,4	7,10	90,5	43,1
Ventilador de circulacion	2,14	2,5	1680	1,5	1,4	1,5	440	0,78	1,5	0,86	76,2	41,1
Bomba agua fría 2 caldera	20,1	27,6	1780	11,6	10,7	11,6	440	0,80	11,3	6,81	90,5	41,1
Cadena extractora	2,4	2,7	1716	1,2	1,2	1,2	440	0,90	1,2	0,81	81,0	36,6
Bomba lavamoldes	28,2	39,0	1775	13,0	13,0	12,0	440	0,79	12,7	7,54	91,4	32,8
Ventilador del molde	3,49	4	3485	1,1	1,6	1,3	440	0,88	1,3	0,88	84,2	28,6

Fuente: El autor, archivo de computador.

Para los factores de carga bajos, se puede pensar en el cambio de motor por uno de potencia más baja, pero si el motor es de muy baja potencia, no es muy representativo el consumo energético y por ende el ahorro, la figura 15 nos muestra el comparativo de rendimiento, factor de potencia y factor de carga.

Figura 15. Rendimiento de un motor y factor de potencia



Fuente: DEL ROSARIO, Raúl. Ahorro de energía en el uso de los Motores Eléctricos.10 de junio, 2002

El rendimiento de un motor y el factor de potencia disminuyen cuando el motor trabaja cargado por debajo del 50% de su potencia nominal.

Para el caso del estudio realizado, se puede tomar como ejemplo el motor de la bomba de la caldera agua fría # 1, potencia motor 20HP, que está al 50% de la carga, si pasamos a un motor de 15HP, llegamos a un factor de carga de 68%, y si se pasa a un motor de 12 HP, se llega a un 85%, con un menor consumo de energía, pero adicional hay mayor rendimiento, y a mayor rendimiento mayor eficiencia.

Con 15HP se obtienen 3.73Kw de ahorro, con 12HP se obtienen 5.96Kw, es decir a 230 pesos el KW/Hora se obtienen: 5 y 8 millones de pesos aproximadamente de ahorro. Esto sólo con un motor y se tienen varios con este factor de carga.

6.2.3 Ahorro de energía con implementación de variador de velocidad. En este caso se presentan algunas de las alternativas con respecto a la implementación de variadores de velocidad se tomó como referencia el área del molino de maíz, donde se realizó una prueba piloto con la turbina 8B de aspiración del molino, se instaló un variador de 75HP marca Danfoss conectado directamente al motor, datos de motor, cuadro 21, se dejó un mes en funcionamiento, al inicio con la frecuencia de la red 60HZ, cada 4 días se empezó a bajar la frecuencia en 0.5Hz y se verifica cargas y consumo del equipo sin que se afectara el funcionamiento del proceso, para caso de molinos que no se presentaran atascos de producto en tuberías por una mala aspiración.

De esta forma por 1 mes y se llegó a una frecuencia de 52 Hz, esto fue el menor valor de frecuencia que se obtuvo, menos de este valor ya se presentan atascos de producto.

A continuación se presenta el siguiente procedimiento para determinar la viabilidad de la instalación de un variador de velocidad. Empresa contratista encargado del estudio ISB, con la supervisión directa de Harinera del Valle.

Cuadro 21. Procedimiento para determinar la viabilidad de un variador de velocidad

Datos iniciales del sistema:		
Datos	Motor	Variador
Potencia	72HP	75
Eficiencia	90%	96%
Variador		Danfoss
Costo Inversión	0	\$ 11.137.750
Costo KW/H	\$ 230	\$ 230

Fuente: ISB, archivo de computador.

Ciclo de funcionamiento: en este punto se realizará la descripción del ciclo de trabajo del sistema en todo el año y a su vez el porcentaje del funcionamiento de la aplicación durante este tiempo.

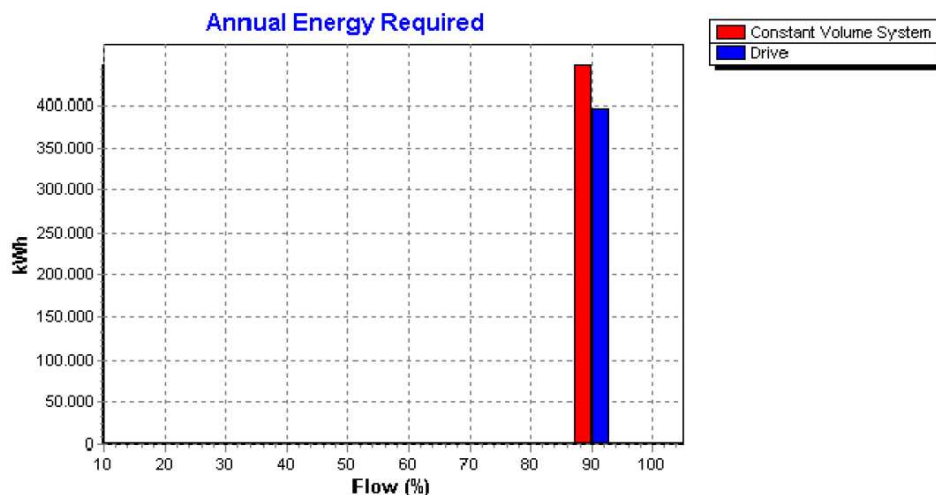
Horas de trabajo al día: 24. Días de trabajo a la Semana: 6. Semanas de trabajo al año: 52. De acuerdo con las pruebas realizadas el porcentaje de trabajo necesario para esta aplicación es de un 90% el 100% del tiempo, ver cuadro 22, por lo cual a continuación se hace una comparación del consumo actual con el del variador instalado, en la figura 16 se muestra los resultados en grafico de barras.

Cuadro 22. Relación de consumo y ahorro

Flujo de aire (%)	Tiempo de Funcionamiento %	Tiempo de funcionamiento (Hrs)	Consumo sistema actual (Kw/hr – año)	Consumo sistema Variador (Kw/hr – año)
90	100	7488	446.884	395440
Total		7488	446.884	395440
Total		Ahorro de Kw/hr – año		51.444
		Valor del Ahorro		USD 6.173

Fuente: ISB archivo de computador.

Figura 16. Energía anual requerida



Fuente: ISB. Variador Danfoss. Informe servicio. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

En la figura 16 anterior se comparan el consumo del sistema actual (rojo) con el consumo con el variador de velocidad (azul).

Comparación de Costos, cuadro 23: en el cuadro que se encuentra a continuación se describen cada uno de los costos tanto del sistema actual con el sistema con variador de velocidad, y de esta forma determinar el tiempo del retorno de la inversión.

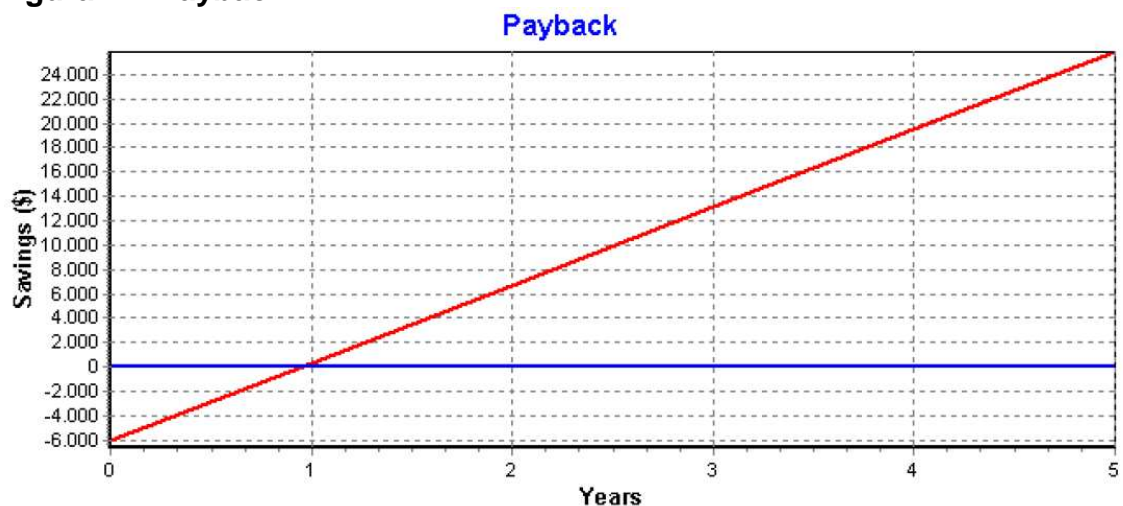
Cuadro 23. Retorno Inversión

ITEMS	Costos sistema actual (USD)	Costos variador velocidad (USD)
Costo del equipo	0	5.811
Instalación y puesta en marcha	0	200
Costo de mantenimiento (año)	200	0
Costo de energía (año)	53.626	47.453
TOTAL	53.826	53.464
Payback (retorno de la inversión)	0.94 años, es decir 11 meses aproximadamente	

Fuente: ISB archivo de computador.

En la figura 17, se aprecia el punto de encuentro entre los costos del sistema actual con respecto al sistema con variador, donde se refleja el ahorro que se puede obtener en el transcurso del tiempo.

Figura 17. Payback



Fuente: ISB. Variador Danfoss. Informe servicio. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

En el momento de realizar la instalación del variador de velocidad en el sistema actual, se pueden obtener ahorros significativos, los cuales garantizan el retorno de la inversión en un tiempo no mayor a un año.

En costos se tienen 51444Kw anuales de ahorro a 230 pesos KW, equivalen a \$11.832.120

Pesos al año, esto después del primer año que sería el año de recuperación de la inversión.

Ya se tienen 2 turbinas más, para la misma aplicación de ahorro.

Después de este periodo son Kilowatios de ahorro de por vida.

6.2.4 Estimación de la eficiencia en el sitio de operación y la relación con los potenciales de ahorro energético del motor

6.2.4.1 Evaluar la eficiencia de los motores eléctricos en sitio. Una práctica importante en el ahorro de energía es evaluar la potencia y la eficiencia de operación de los motores eléctricos. El conocimiento de la potencia entregada y la eficiencia de operación permitirán luego poder tomar acciones correctivas para aumentar la eficiencia de operación. Estas mediciones deben realizarse sin perturbar el proceso productivo, el método por separación de pérdidas, fue el que se utilizó para este trabajo.

Si el motor está operando con una carga menor al 80% la potencia nominal tendrá un factor de potencia bajo por lo que será preciso evaluar el cambio por un motor nuevo ó por otro motor de menor potencia nominal. Si se encuentra que la eficiencia del motor es muy baja se recomienda evaluar económicamente la posibilidad de cambiarlo por un motor de alta eficiencia.

En la empresa Harinera del Valle, la gestión de motores muestra que en las actividades de gestión no está incluido el seguimiento a la eficiencia de los motores, tampoco existe un indicador del rendimiento de los equipos y como consecuencia los costos de producción por concepto de motores eléctricos no tienen un control idóneo que le permita a los procesos ser más rentables. Por tal motivo se desea crear una opción que le permita a la empresa llevar un registro de

las eficiencias e identificar los motores con baja eficiencia, que están generando pérdidas de energía eléctrica que se reflejan directamente en los costos de producción.

Este método de evaluación de pérdidas consiste en estimar las magnitudes de las cinco pérdidas: pérdida en el cobre del estator P_{cv1} , pérdida en el cobre del rotor P_{cv2} , pérdida en el núcleo P_{fe} , pérdida por fricción y rozamiento con el aire P_{fv} y la pérdida adicionales en la carga. Para implementar este método es necesario evaluar las pérdidas utilizando métodos teóricos y también métodos prácticos basados en factores empíricos. Las pérdidas en el cobre del estator se pueden calcular mediante la ecuación: $P_{cv1} = 3 \cdot I^2 \cdot R$.

En este caso se necesitan como datos la resistencia y la corriente de fase en el motor. Para calcular las pérdidas en el hierro, más las pérdidas de fricción y ventilación se usara el Método E de la IEEE Modificado por Ontario Hydro, donde sugiere que las pérdidas por rozamiento con el aire, fricción y en el núcleo combinado corresponde de 3.5 a 4.2 % de la potencia de entrada nominal, según la siguiente ecuación: **$P_{fe} + P_{fv} = (3.5 - 4.2\%)P_i$** .

En cuanto a las pérdidas adicionales en carga, usamos la recomendación de la norma IEEE112, cuadro 24, que dice que las pérdidas adicionales con carga son un porcentaje de la potencia nominal del motor. A continuación se presentan los valores recomendados por la norma de acuerdo a potencia.

Cuadro 24. Valores asumidos para las pérdidas adicionales en la carga

Potencia NominalHP	Pérdidas Adicionales en % de la potencia
1-125	1.8 %
126-500	1.5 %
501-2499	1-2 %
2500-en adelante	0.9 %

Fuente: IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Standard 112-2004, Nov. 2004.

Es decir: $PLL = (1.8\%) PN$

Donde P_n es la potencia nominal del motor expresada en watts y el porcentaje depende de la potencia de placa del motor. Las pérdidas en el rotor se pueden calcular mediante la ecuación: $P_{cv2} = S \cdot P_a$

Donde S corresponde al deslizamiento del motor. Por lo tanto para evaluar las pérdidas se necesitan los datos siguientes:

- La resistencia de fase del bobinado estatórico del motor R_f
- La velocidad de operación del motor W_{mec}
- La corriente de fase del motor I_f
- La potencia de entrada del motor P_i
- La potencia de placa del motor P_n

El método de separación de pérdidas de Ontario Hydro puede ser simplificado utilizando valores asumidos para el factor de potencia nominal. También se pueden hacer aproximaciones para el incremento de temperatura en el devanado, y aún la resistencia del devanado podría ser estimada utilizando una lectura tomada del interruptor del circuito y restándole la resistencia estimada del cable. Las mediciones requeridas son la potencia entrante al motor y la velocidad del motor.

La eficiencia es determinada mediante la ecuación: $N = 1 - (P_{totales}/P_i) \cdot 100$

Para la evaluación de eficiencia en sitio del motor se toma como caso de estudio el motor de Rosca principal línea 2 al cual se le realizaron las mediciones pertinentes para cálculo de la eficiencia en sitio, en cuadro 25 se resumen todos los cálculos, en la figura 18, grafico de barras comparativo

Datos técnicos del motor

Potencia de entrada = 65kw

Resistencia estator = 0.17Ω

Velocidad nominal = 1200 rpm

Velocidad en el eje = 1067 rpm

De acuerdo a la norma (método E1 IEEE112 2004)

$P_{fe} + P_{fv} = (3.5 - 4.2\%) \text{ de la potencia de entrada}$

De acuerdo a la norma IEEE112 2004 sección 5.74 $PLL = 1.8\%$ de la potencia de entrada.

Cálculos realizados

$P1 = \text{Potencia de entrada} = 53.161\text{kw}$
 $(P_{cv1}) = \text{Perdidas en el devanado del estator} = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot 84^2 \cdot 0.17 = 3.598\text{Kw}$
 $P_{fe} + P_{fv} = (3.5 \cdot 53.16\text{kw})/100 = 1.860\text{ kw}$
 $P_a = \text{Potencia de entrada al motor} = P1 - P_{cv1} = 53.161\text{kw} - 1.860\text{kw} = 51.301\text{kw}$
 $S = (n_s - n_m) / n_s = 1200 - 1067 / 1200 = 0.11083$
 $(P_{cv2}) = \text{Perdidas en el rotor} = S \cdot P_a = 0.11083 \cdot 51.301\text{kw} = 6.055\text{kw}$
 $PLL = \text{Perdidas adicionales con carga} = 1.8\% \text{ de la potencia nominal de salida} = (1.8 \cdot 65\text{kw})/100 = 1.17\text{kw}$
 $\text{Pérdidas totales} = P_{cv1} + P_{fv} + P_{cv2} + PLL = 3.598 + 1.860 + 6.055 + 1.17 = 12.683$
 $\text{Pérdidas totales} = 12.683\text{kw}$
 $N = 1 - (P_{\text{totales}}/P_i) \cdot 100 = (1 - (12.683/51.301)) \cdot 100 = (1 - 0.24) \cdot 100 = 76\%$
 $\eta = 76\%^{11}$

Cuadro 175. Cálculo eficiencia real de los motores

NOMBRE	I	Ohm	W	P/IN	P _{cv1} (W)	P _{fe} (W)	P _a (W)	S	P _{cv2} (W)	PLL	Perd Total	RPM	RPM Real	Eficiencia
ROSCA DE PRENSA L.2	84,0	0,17	65.000	53.161	3.598,6	1.860	51.301,0	0,11	6055	1.170	12.683	1.200	1.067	76,0
ROSCA DE PRENSA 2 L.1	43,7	0,16	53.000	27.306	915,3	955,7	26.391,2	0,17	4.369	954	7.194	1.800	1.502	73,7
ROSCA DE PRENSA 1 L.1	43,4	0,16	53.000	27.161	905,5	950,6	26.255,0	0,13	3.501	954	6.311	1.800	1.560	76,8
MEZCLADORA INTENSIVA L.2	53,0	0,30	42.000	33.542	2.528,1	1.174,0	31.014,2	0,02	620	756	5.078	1.800	1.764	84,9
COMPRESOR UH 50	66,7	0,50	37.300	42.192	6.666,7	1.476,7	35.524,9	0,05	1.737	671	10.552	1.800	1.712	75,0
TURBINA MARTILLO REMOLIDA	49,2	0,60	37.300	31.487	4.351,3	1.102,0	27.135,4	0,01	143	671	6.268	3.600	3.581	80,1
SOPLANTE MATERIA PRIMA	47,0	0,18	29.989	29.745	1.192,9	1.041,1	28.552,2	0,003	95	540	2.869	3.600	3.588	90,4
COMPRESOR UH 40	53,3	0,52	29.840	33.753	4.437,3	1.181,4	29.315,9	0,003	98	537	6.254	3.600	3.588	81,5
COMPRESOR 2 CHILLER PASTAS	32,0	0,90	22.380	20.252	2.764,8	708,8	17.487,1	0,02	427	403	4.304	1.800	1.756	78,7
COMPRESOR 1 CHILLER PASTAS	27,3	0,60	22.380	17.299	1.344,8	605,4	15.953,7	0,02	372	403	2.725	1.800	1.758	84,2
BOMBA LAVAMOLDES	12,7	0,50	21.037	7.539	240,7	263,9	7.298,6	0,02	126	379	1.009	1.800	1.769	86,6
COMPRESOR SULLAIR	23,0	0,51	17.904	14.903	809,4	521,6	14.093,3	0,02	282	322	1.935	1.800	1.764	87,0
BOMBA AGUA FRÍA 1 CALDERA	13,3	4,30	14.995	8.417	2.281,9	294,6	6.135,3	0,01	51	270	2.898	1.800	1.785	65,6
BOMBA AGUA FRÍA 2 CALDERA	11,3	4,30	14.995	6.811	1.647,2	238,4	5.163,7	0,01	46	270	2.201	1.800	1.784	67,7
TURBINA REMOLIDA	19,7	0,90	14.920	12.595	1.044,3	440,8	11.550,4	0,003	39	269	1.792	1.800	1.794	85,8
BANCO REMOLIDA	12,4	0,90	14.920	7.100	415,2	248,5	6.685,1	0,03	186	269	1.118	1.800	1.750	84,3
MEZCLADOR PRINCIPAL L.1	11,0	0,30	11.000	6.299	108,9	220,5	6.189,7	0,01	31	198	558	1.800	1.791	91,1
VENTILADOR CALDERA	12,2	3,16	7.535	7.997	1.411,0	279,9	6.585,8	0,01	84	136	1.911	3.600	3.554	76,1
BOMBA DEL VACIO L.1	12,0	1,60	7.500	6.871	691,2	240,5	6.180,0	0,03	161	135	1.228	1.800	1.753	82,1
VENTIL.DESMENUSADOR L.1	7,5	1,00	7.500	5.051	170,3	176,8	4.881,2	0,02	114	135	596	3.600	3.516	88,2

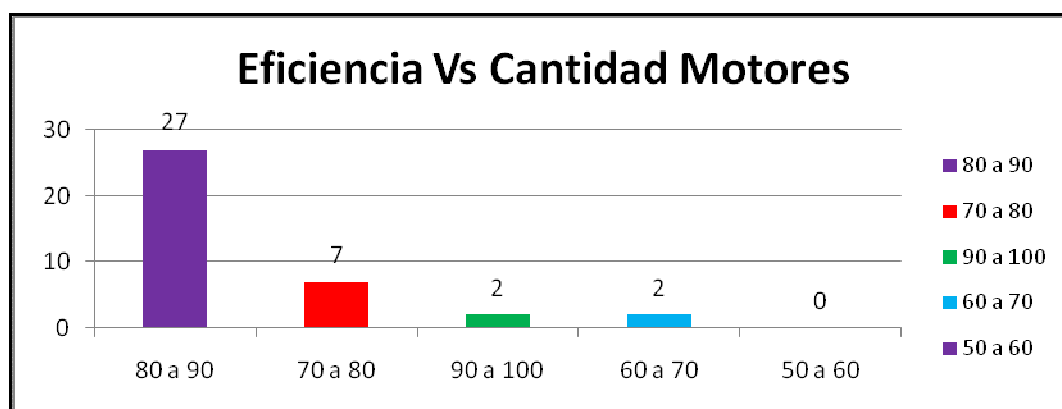
¹¹IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Standard 112-2004, Nov. 2004.

Cuadro 25. (Continuación).

NOMBRE	I	Ohm	W	P/IN	Pcv1(W)	Pfe (W)	Pa (W)	S	Pcv2(W)	PLL	Perd Total	RPM	RPM Real	Eficiencia
VENTIL.RECORTES L.1	6,7	3,60	6.600	4.420	480,0	154,7	3.940,1	0,01	54	119	807	3.600	3.551	81,7
MEZCLADOR RÁPIDO L.1	9,3	2,50	5.500	5.446	644,0	190,6	4.801,7	0,003	16	99	950	1.200	1.196	82,6
BOMBA DE VACIO L.2	8,5	1,30	5.498	5.358	279,6	187,5	5.078,8	0,02	119	99	685	1.800	1.758	87,2
CORTADORA L.1	7,3	1,60	4.600	4.807	258,1	168,2	4.548,7	0,002	9	83	518	3.600	3.593	89,2
VENTIL DE ASPIRACIÓN L.1	3,7	4,50	4.000	2.447	188,2	85,6	2.258,9	0,02	46	72	392	3.600	3.526	84,0
VENTIL.EVACUACION L.1	5,1	4,60	3.600	3.249	363,6	113,7	2.885,1	0,02	57	65	599	3.600	3.529	81,6
MEZCLADORA AL VACIO L.1	3,5	4,90	3.000	2.057	180,1	72,0	1.876,8	0,004	7	54	313	1.800	1.793	84,8
BOMBA HIDRÁULICA L.1	4,5	3,00	2.999	3.051	182,3	106,8	2.869,1	0,02	43	54	386	3.600	3.546	87,3
VENTILADOR DEL MOLDE	1,3	3,50	2.604	884	18,7	30,9	865,3	0,02	16	47	112	3.600	3.535	87,3
VENTILADOR ASPIRADOR	2,1	3,10	2.201	1.447	42,3	50,6	1.404,2	0,02	31	40	163	3.600	3.521	88,7
VENTIL.AIRE.FRESCO.Z1	3,0	3,30	2.200	2.012	87,1	70,4	1.924,5	0,02	44	40	241	3.600	3.518	88,0
CADENA EXTRACTORA	1,2	1,80	1.800	814	7,8	28,5	805,9	0,03	24	32	93	1.800	1.746	88,6
VENTIL.DE.CIRCULACION	2,8	3,90	1.750	1.730	91,7	60,5	1.638,1	0,02	30	32	214	3.600	3.533	87,6
VENTIL.CIRCUL.Z1.IZQ	2,7	3,60	1.600	1.828	76,8	64,0	1.751,5	0,02	29	29	198	3.600	3.541	89,2
VENTILADOR DE CIRCULACIÓN	1,5	3,60	1.596	862	23,2	30,2	838,7	0,04	30	29	112	1.800	1.736	87,0
ESCLUSA	1,8	10,30	1.500	1.180	100,1	41,3	1.079,7	0,003	4	27	172	1.800	1.794	85,4
CORTADOR ACCIONAMIENTO	1,5	14,30	1.499	936	100,9	32,8	834,9	0,10	83	27	243	1.800	1.622	74,0
ACCIONAMIENTO SECADOR	1,5	8,90	1.100	862	57,4	30,2	804,5	0,07	56	20	164	1.800	1.674	81,0

Fuente: El autor, archivo de computador.

Figura 18. Eficiencia Vs Cantidad Motores



Fuente: El autor, archivo de computador.

La gran mayoría de los motores encuentran su eficiencia entre el 80 y 90%, lo cual es un buen indicio, para la eficiencia global de la empresa.

Para el ejemplo que se tomó, si se compara la eficiencia real que es de 76%, versus la eficiencia de placa que se sacó según el año de fabricación y la marca del motor 88%, se ve claramente que ha perdido eficiencia, la razón obvia, puede ser que este motor ya ha sido reparado o bobinado 4 veces en su tiempo de vida, 15 años de funcionamiento, este dato es el histórico del sistema SAP, que esta implementado en la empresa. Ya se puede pensar en un cambio, la cargabilidad de este mismo motor esta en 76.8%, también se puede pensar en un motor más pequeño, pero por disposición del equipo donde va acoplado se tendría que cambiar un reductor muy grande y no aplica en este caso, pues es una inversión bastante alta.

Si sólo se cambia por uno de alta eficiencia, se obtiene un ahorro anual de \$7.067.561 millones de pesos con recuperación de inversión en 1año. Para este cálculo ver la cuadro 18.

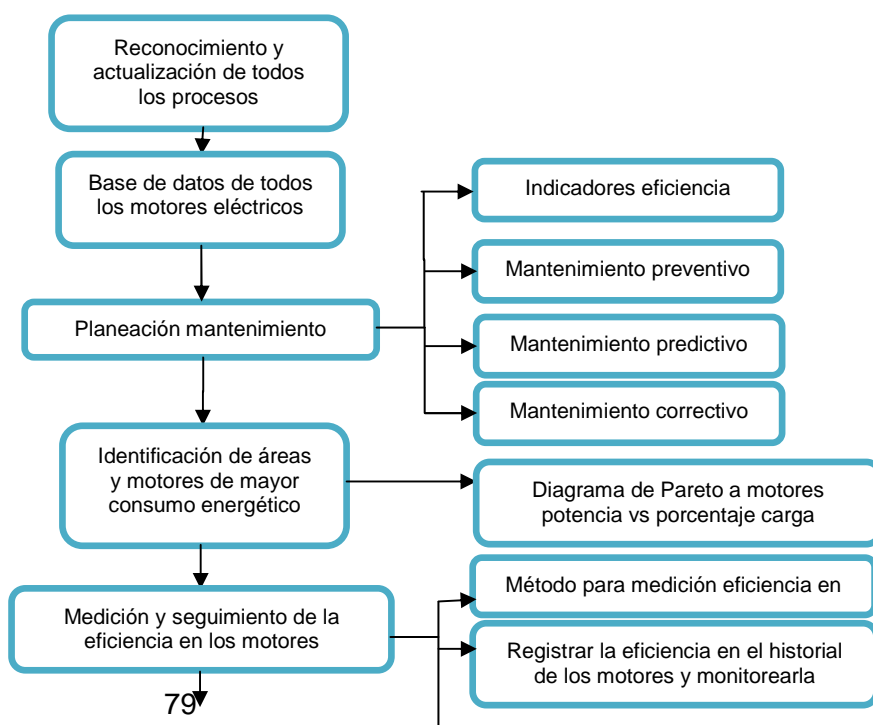
7. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA REALIZAR GESTIÓN EFICIENTE DE MOTORES EN HARINERA DEL VALLE

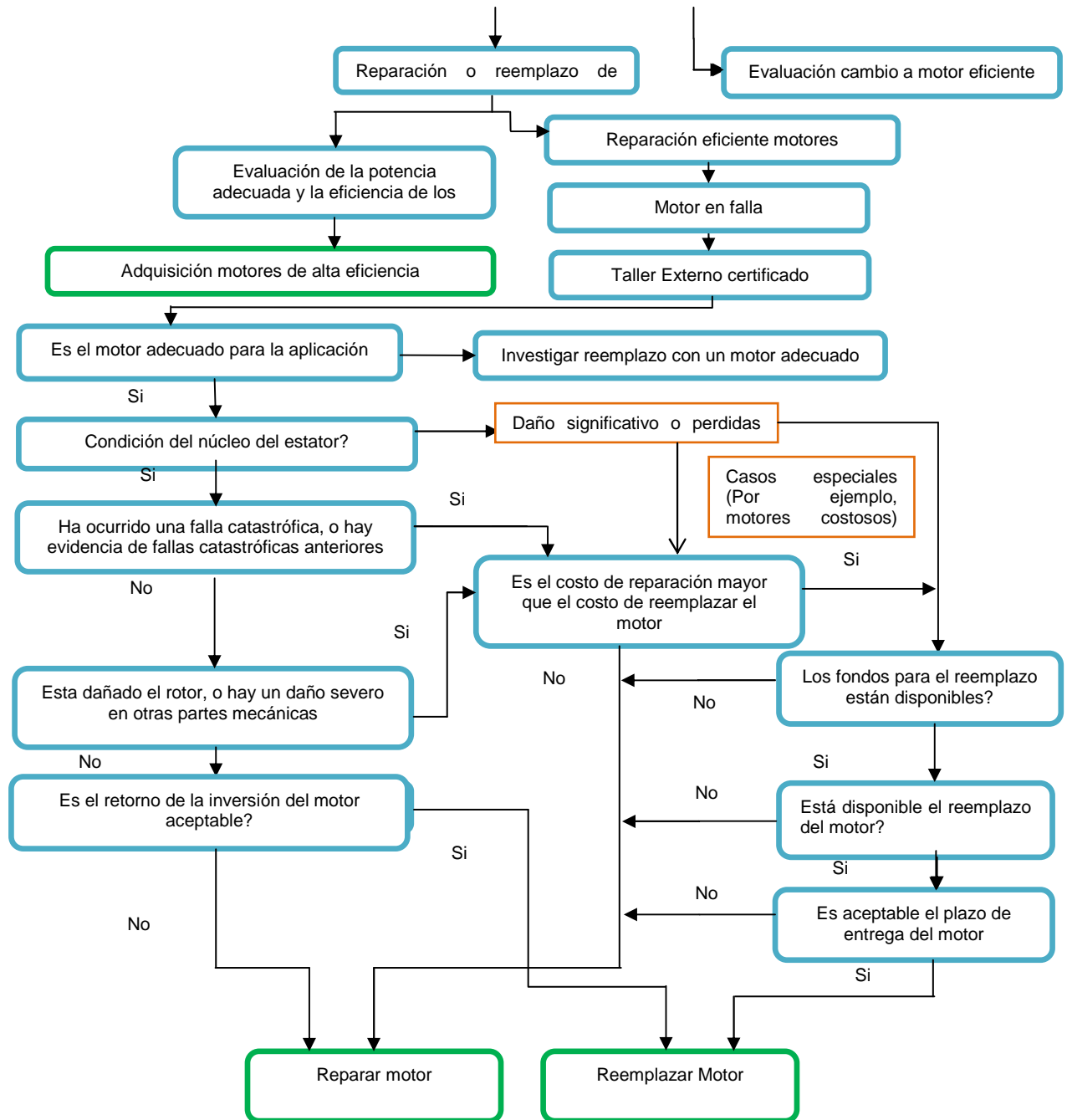
Los aspectos a mejorar en la gestión de motores de la empresa Harinera del Valle, permitieron observar de una forma clara que no se realiza un seguimiento a la eficiencia de los equipos. Tampoco existe un plan de selección adecuada de los motores para que puedan ingresar nuevos al proceso, puesto que aun operan motores muy antiguos, con más de 15 años de funcionamiento, lo que quiere decir que no se lleva un registro actualizado del tiempo que lleva trabajando los motores eléctricos desde su puesta en marcha. El mayor porcentaje de los motores son de eficiencia estándar, y con la propuesta en cuestión se debe realizar cambio a motores de alta eficiencia.

La metodología que se quiere implementar se debe dejar como procedimiento reglamentado, dentro del sistema integral de calidad de la empresa.

A continuación se presenta la propuesta a Harinera del Valle S.A. Para realizar la gestión de motores, se muestra en la figura 19.

Figura 19. Estrategia propuesta a Harinera del Valle S.A. para la realización de gestión de motores





Fuente: El autor, archivo de computador.

El flujograma anterior muestra que la gestión de motores inicia con el reconocimiento del proceso. Cuando se hace el análisis se puede ir identificando cuales son los motores más importantes para la elaboración de las pastas alimenticias de una forma muy básica, el reconocimiento tiene que estar siendo actualizado puesto que constantemente se realizan cambios en los procesos y la mejora continua del sistema. Se debe de contar con una base de datos que almacene toda la información acerca de los motores eléctricos incluyendo la

eficiencia y el historial del motor, esto en parte ya se maneja con el sistema integrado SAP, falta incluir el parámetro de eficiencia, como ruta o plan para toma de datos y verificaciones de los motores de forma rutinaria, mensual, trimestral, semestral o como se defina dentro del proceso, luego pasamos a la planeación del mantenimiento que es parte fundamental de la gestión del mantenimiento y en esta parte se desglosan tres tipos que en la actualidad se practica en las grandes empresas las cuales son mantenimiento preventivo, predictivo y el correctivo, adicional se incluyó la eficiencia. Siguiendo se hace referencia a las áreas y motores de mayor consumo, para esta parte se realizan diagramas de pareto que permiten visualizar a través de gráficas en Excel las áreas y motores que mas impactan en el consumo de energía con la finalidad de hacer mayor énfasis en el ahorro de energía en estos sitios.

Posteriormente se encuentra en el diagrama de flujo la medición y el seguimiento a la eficiencia de los motores eléctricos importantes ya que hoy en día uno de los potenciales de ahorro es hacer lo procesos más eficientes en cuanto a productividad y ahorro de energía. En este punto encontramos los métodos para evaluar la eficiencia en sitio. Y además toda la información acerca del comportamiento de la eficiencia en los motores debe ser almacenada en la base de datos de la empresa para que ésta sea constantemente monitoreada y tomar una decisión acertada para el cambio de motor cuando la eficiencia de este haya caído, o por uno de eficiencia estándar cuando presente fallas. Por último en los elementos necesarios para realizar gestión encontramos la parte de compra y reparación de los motores. Para la adquisición de un nuevo motor se debe evaluar tanto el factor de carga, la eficiencia, la aplicación, el costo y el tiempo de entrega del motor.

Hay que definir si se reemplaza, pero cumpliendo el flujograma, porque en ocasiones se puede definir por la reparación, aunque definitivamente se asegura de nuevo que siempre es más viable el cambio a uno de alta eficiencia.

También está la opción de cambiar por uno de menor potencia pero con la capacidad de asumir la carga correspondiente y que se logren ahorros energéticos.

En la decisión de reemplazo, hay que determinar también lo siguiente, el motor es adecuado para la aplicación, el costo de la reparación es mayor que el del motor nuevo, la falla ocurrida es grave y no posee reparación, es un motor especial y costoso, se poseen los medios para reemplazar por uno de alta eficiencia o se emplea uno de eficiencia normal, aunque esta no es la finalidad de este trabajo, pero se debe tener en cuenta.

Todo lo anterior conlleva siempre a que es mejor cambiar a motores de alta eficiencia, desde cualquier punto de vista que se le mire.

7.1 FORMATOS PROPUESTOS PARA REALIZAR LA GESTIÓN EFICIENTE EN LOS MOTORES DE HARINERA DEL VALLE

Para la realización de la hoja de vida de cada equipo, se apoyó en formatos de Excel, para esto se tuvo en cuenta lo que se debe hacer, en el chequeo del motor y la periodicidad con la que se ejecuta cada labor. En el cuadro 26 se muestra un listado de chequeos que se realiza al motor con su respectiva frecuencia de mantenimiento

Cuadro 186. Lista de chequeos motores eléctricos

ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO			
	Diario	Semanal	Mensual	A
Limpieza exterior y comprobación de resistencias de aislamiento			X	
Desarme, inspección y secado				X
Revisión y engrase de rodamientos			X	
Limpieza del devanado con gasolina o nafta				X
Secado del devanado				X
Revisión de cuñas y acoples			X	
Comprobación de balance de tensión			X	
Comprobación factor de potencia			X	
Vibraciones			X	
Apriete de conexiones			X	
Ajuste de tensión de poleas y correas			X	
Comprobación de			X	
Verificar conexión a tierra			X	
Medición de reactiva, corriente y velocidad				
Revisión y calibración de			X	
Revisión del sistema de ventilación y enfriamiento			X	
Revisión de alineación			X	
Sistemas de control			X	
Termografía			X	

D: Diario S:Semanal M: Mensual A: Anual

Fuente: El autor, archivo de computador.

Toda la información de inspección y de medición debe ser consignada en la base de datos de motores eléctricos de Harinera del Valle.

Como la empresa no realiza un seguimiento de la eficiencia y de los factores de carga, se propone el siguiente formato listado en el cuadro 27 para el almacenamiento de la información en la base de datos.

Cuadro 197. Archivo para realizar seguimientos de eficiencia y cargabilidad del motor

Nombre Equipo	EffNom	EffMed	I Nom	Pot salida	I Med	Pot nominal	Factor de carga
Rosca de prensa l.2	93,9	77,2	109,0	53,2	84,0	87,1	76,8
Rosca de prensa 2 l.1	93,0	73,7	87,0	27,3	43,7	71,0	47,9
Rosca de prensa 1 l.1	93,0	76,8	87,0	27,2	43,4	71,0	47,7
Mezcladora intensiva l.2	93,0	84,9	70,0	33,5	53,0	56,3	74,3
Compresor uh 50	92,5	75,0	72,0	42,2	66,7	50,0	104,6
Turbina martillo remolida	92,5	80,1	62,0	31,5	49,2	50,0	78,1
Soplante materia prima	92,5	90,4	52,0	29,7	47,0	40,2	91,7
Compresor uh 40	92,0	81,5	62,0	33,8	53,3	40,0	104,1
Compresor 2 chiller pastas	91,4	78,7	42,0	20,3	32,0	30,0	82,7
Compresor 1 chiller pastas	91,4	84,2	42,0	17,3	27,3	30,0	70,6
Bomba lavamoldes	91,4	86,6	39,0	7,5	12,7	28,2	32,8
Compresor sullair	90,5	87,0	31,0	14,9	23,0	24,0	75,3
Bomba agua fría 1 caldera	90,5	65,6	27,6	8,4	13,3	20,1	50,8
Bomba agua fría 2 caldera	90,5	67,7	27,6	6,8	11,3	20,1	41,1
Turbina remolida	90,5	85,8	25,0	12,6	19,7	20,0	76,4
Banco remolida	90,5	84,3	30,0	7,1	12,4	20,0	43,1
Mezclador principal l.1	88,4	91,1	20,7	6,3	11,0	14,7	50,6
Ventilador caldera	88,4	76,1	16,0	8,0	12,2	10,1	93,8
Bomba del vacio l.1	87,0	82,1	14,0	6,9	12,0	10,1	79,7
Ventil.desmenuador l.1	87,0	88,2	12,7	5,1	7,5	10,1	58,6
Ventil.recortes l.1	87,0	81,7	8,7	4,4	6,7	8,8	58,3
Mezclador rápido l.1	85,7	82,6	10,7	5,4	9,3	7,4	84,9
Bomba de vacio l.2	87,0	87,2	10,5	5,4	8,5	7,4	84,8
Cortadora l.1	85,7	89,2	8,2	4,8	7,3	6,2	89,6
Ventil de aspiración l.1	84,2	84,0	7,0	2,4	3,7	5,4	51,5
Ventil.evacuación l.1	84,2	81,6	7,6	3,2	5,1	4,8	76,0
Mezcladora al vacio l.1	82,6	84,8	6,2	2,1	3,5	4,0	56,6
Bomba hidráulica l.1	82,6	87,3	6,2	3,1	4,5	4,0	84,0
Ventilador del molde	84,2	87,3	4,0	0,9	1,3	3,5	28,6
Ventilador aspirador	81,0	88,7	4,3	1,4	2,1	3,0	53,2

Cuadro 27. (Continuación).

Nombre Equipo	EffNom	EffMed	I Nom	Pot salida	I Med	Pot nominal	Factor de carga
Ventil.aire.fresco.z1	81,0	88,0	4,3	2,0	3,0	2,9	74,1
Cadena extractora	81,0	88,6	2,7	0,8	1,2	2,4	36,6
Ventil.de.circulacion	81,0	87,6	3,4	1,7	2,8	2,3	80,1
Ventil.circul.z1.izq	81,0	89,2	2,8	1,8	2,7	2,1	92,6
Ventilador de circulación	76,2	87,0	2,5	0,9	1,5	2,1	41,1
Esclusa	78,5	85,4	3,2	1,2	1,8	2,0	61,7
Cortador accionamiento	81,0	69,1	3,2	0,9	1,5	2,0	50,5
Accionamiento secador	76,2	81,0	2,5	0,9	1,5	1,5	59,7
Elevador canjilones	76,2	91,4	2,6	0,9	1,5	1,5	62,6

Fuente: El autor, archivo de computador.

Tabla inicial para empezar levantamiento y seguimiento de información de los motores, los datos anteriores ya se tomaron por primera vez, con un plan en SAP, se implementa la ruta mensual y se llenan de nuevo los datos, en el cuadro 28 muestra el plan aplicado a la eficiencia

Cuadro 28. Plan Maestro Eficiencia Motores

	<u>Nombre del equipo</u>	Rosca de prensa I.2	Rosca de prensa 1 I.1	Rosca de prensa 2 I.1	Compresor uh 40	Compresor uh 30	Compresor sullair	Bomba lavamoldes	Banco remolida	Turbina remolida	Ventilador caldera
NUMERO SEMANAS	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										

Cuadro 28. (Continuación).

	<u>Nombre del equipo</u>	Rosca de prensa l.2	Rosca de prensa 1 l.1	Rosca de prensa 2 l.1	Compresor uh 40	Compresor uh 30	Compresor sullair	Bomba lavamoldes	Banco remolida	Turbina remolida	Ventilador caldera
	10										
	11										
	12										
	13										
	14										
	15										
	16										
	17										
	18										
	19										
	20										
	21										
	22										
	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										

Fuente: El autor, archivo de computador.

En el cuadro anterior se muestra que cada mes se debe medir la eficiencia del motor y su cargabilidad, este cuadro se incluye dentro del plan de mantenimiento preventivo. Los resultados de las mediciones se ingresan a la base de datos del sistema SAP, para llevar un historial de la eficiencia y la cargabilidad, y de esta forma determinar que motores están por fuera del rango normal de trabajo. Para los casos de rebobinado de motores se generó en el cuadro 29, para seguimiento, reemplazo o rebobinado de motores.

Cuadro 29. Formato propuesto para seguimiento de reemplazo y/o rebobinado

Descripción motor	Años de uso	# bobinados	motor estandar	motor eficiente	"> 4" Cambio
Rosca de prensa l.2	16	5	si	no	Cambio
Rosca de prensa 2 l.1	16	3	si	no	
Rosca de prensa 1 l.1	16	3	si	no	
Mezcladora intensiva l.2	16	2	si	no	
Compresor uh 50	16	0	si	no	
Turbina martillo remolida	16	4	si	no	
Soplante materia prima	16	1	si	no	
Compresor uh 40	16	2	si	no	
Compresor 2 chiller pastas	16	0	si	no	
Compresor 1 chiller pastas	16	0	si	no	
Bomba lavamoldes	16	2	si	no	
Compresor sullair	16	5	si	no	Cambio
Bomba agua fría 1 caldera	16	1	si	no	
Bomba agua fría 2 caldera	16	1	si	no	
Turbina remolida	16	4	si	no	
Banco remolida	16	1	si	no	
Mezclador principal l.1	16	2	si	no	
Ventilador caldera	16	1	si	no	
Bomba del vacio l.1	16	1	si	no	
Ventil.desmenuador l.1	16	1	si	no	
Ventil.recortes l.1	16	2	si	no	
Mezclador rápido l.1	16	2	si	no	
Bomba de vacio l.2	16	2	si	no	
Cortadora l.1	16	1	si	no	
Ventil de aspiración l.1	16	1	si	no	
Ventil. evacuación l.1	16	0	si	no	
Mezcladora al vacio l.1	16	2	si	no	
Bomba hidráulica l.1	16	0	si	no	
Ventilador del molde	16	1	si	no	
Ventilador aspirador	16	0	si	no	
Ventil.aire.fresco.z1	16	1	si	no	
Cadena extractora	16	0	si	no	
Ventil. de circulacion	16	0	si	no	
Ventil.circul.z1.izq	16	0	si	no	
Ventilador de circulación	16	0	si	no	
Esclusa	16	1	si	no	
Cortador accionamiento	16	1	si	no	
Accionamiento secador	16	1	si	no	
Elevador canjilones	16	1	si	no	

Fuente: El autor, archivo de computador.

Existen 2 motores en la empresa que llevan más de 5 reparaciones de bobinado, por lo cual se hace necesario su cambio, siguiendo la gestión se debe cambiar por uno de alta eficiencia.

7.2 ASPECTOS PARA UN MANTENIMIENTO CON GESTIÓN EFICIENTE DE MOTORES ELÉCTRICOS

De acuerdo al documento “mantenimiento en la gestión energética” de la UPME y COLCIENCIAS¹², a continuación se listan aspectos a realizar para un mantenimiento eficiente:

- Desarrolle una lista de equipos y sistemas de planta
- Apóyese directamente en el manual de mantenimiento original de los equipos, contactase con el fabricante por si dispone de alguno similar, aunque no sea del modelo exacto. Establezca un manual mínimo de buen uso para los operarios de la máquina, que incluya la limpieza del equipo y el espacio cercano (auto diagnóstico, registro proactivo). Para ello tenga en cuenta:
- Establecer una lista de puntos de comprobación en operación, como niveles de lubricante, presión, temperatura, voltaje, peso, así como sus valores, tolerancia y periodicidad de comprobación, en horas, días, semanas.
- Verifique o establezca la existencia de procedimientos de operación para cada uno de los estados operacionales del equipo o sistema: arranque, parada, cambio de productos, paradas no programadas, paradas programadas, etc.

¹²UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. UPME. y COLCIENCIAS. Documentos Uso Racional de la Energía (URE). Mantenimiento en la Gestión Energética [en línea]. Colombia:UPME, 2010 [consultado marzo de 2010]. Disponible en internet:<http://www.si3ea.gov.co/Default.aspx?tabid=75>.

- Realice los registros requeridos para verificar la acción del operario y medir el estado técnico del equipo en cuanto a disponibilidad y eficiencia.
- Establezca un manual mínimo de buen uso para los mantenedores por máquina y/o sistema. Para esto tenga en cuenta:
- Establezca un Plan Programa de Lubricación de la misma forma, comenzando con plazos cortos, analizando resultados hasta alcanzar los plazos óptimos.
- Establezca un Plan Programa para los sistemas de filtración y filtros del equipo, sean de aire, agua, lubricantes, combustibles, etc. Para establecer los plazos exactos de limpieza y/o sustitución de los filtros, nos ayudará revisarlos y comprobar su estado de forma periódica. Los filtros de cartucho pueden abrirse para analizar su estado, y comprobar si se sustituyeron en el momento justo, pronto o tarde.
- Establezca un Plan Programa para transmisiones, cadenas, rodamientos, correas de transmisión, etc., los fabricantes suelen facilitar un n° de horas aproximado o máximo de funcionamiento, pero que dependerá mucho de las condiciones de trabajo: temperatura, carga, velocidad, vibraciones, etc. Por lo tanto, no tomar esos plazos máximos como los normales para su sustitución, sino calcular esa sustitución en función del comentario de los operarios, la experiencia de los técnicos de mantenimiento.
- Cree un listado de accesorios, repuestos, recambios para el equipo, valorando el disponer siempre de un Stock mínimo para un plazo temporal de 2 veces el plazo de entrega del fabricante.
- Siempre que sea posible, agrupe en el Plan o Programa de Mantenimiento las distintas acciones de mantenimiento preventivo que requieran la parada del equipo o máquina, aunque los plazos no sean exactos, adelantando un poco los más alejados (por ejemplo, si establece la comprobación de presión de un elemento cada 30 días podemos establecerlo nosotros cada 28, para coincidir con otras tareas preventivas del plazo semanal (7 x 4 semanas =28 días).

- Si no disponen de un Software de Mantenimiento, con un mínimo conocimiento de ordenadores pueden crearse aplicaciones simples pero efectivas con programas como Access (bases de datos) y Excel (Hoja de Cálculo), que nos permitirán tener una ficha del equipo, con sus incidencias, paradas, averías, soluciones, repuestos usados, evolución de indicadores de disponibilidad y de eficiencia, etc. Cuantos más datos recojan y guarden, más exactos podrán ser su Programa de Mantenimiento. Para el caso de Harinera del valle, ya se cuenta con un sistema muy completo, para el manejo de toda esta información. SAP¹³, ¹⁴.

¹³ Ibíd., Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Default.aspx?tabid=75>.

¹⁴ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. UPME. y COLCIENCIAS. Documentos Uso Racional de la Energía (URE). Eficiencia energética en motores eléctricos [en línea]. Colombia:UPME, 2010 [consultado marzo de 2010]. Disponible en internet:<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf>.

8. DEFINIR Y NORMALIZAR LOS PROCEDIMIENTOS QUE DEBEN SEGUIRSE PARA QUE LOS TALLERES REALICEN UNA CORRECTA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

La operación y el mantenimiento comprenden las decisiones y acciones tomadas con el propósito de controlar y preservar las instalaciones y los equipos. Estas acciones incluyen entre otras la realización de rutinas preventivas y predictivas, actividades planeadas y no planeadas ejecutadas con el objetivo de evitar fallas de los equipos, garantizar la seguridad, obtener la disponibilidad y confiabilidad deseadas, garantizar el cumplimiento de la función de los equipos con el propósito de incrementar la eficiencia energética y mantenerla dentro de las especificaciones de diseño.

Lo anterior favorece de forma importante el logro de los objetivos comunes de las compañías y permite que se incremente el nivel de confiabilidad, debido a equipos adecuadamente mantenidos. Se logra alcanzar la vida esperada de los equipos, el desempeño y la disponibilidad de los mismos para garantizar la realización del proceso productivo.

El consumo de los motores eléctricos es el mayor componente del costo en la factura eléctrica de las industrias. Muy a menudo encontramos motores mal alineados o sobredimensionados para la carga que están previstos servir, o han sido rebobinados múltiples veces.

El mantenimiento de motores eléctricos es más que estar seguro que estos funcionan correctamente. Debido a que el costo de la energía consumida por un motor eléctrico a lo largo de su vida útil es mucho mayor que el costo mismo del motor, tiene mucho sentido minimizar el costo mediante un proceso de mantenimiento que asegure que los motores y los sistemas asociados operen tan cerca como sea posible de las condiciones óptimas de eficiencia energética.

Los motores eventualmente pierden eficiencia debido al desgaste normal, deterioro del lubricante y mal alineamiento entre ejes, correas y poleas.

El programa de mantenimiento para los motores eléctricos debe ser diseñado considerando las condiciones operativas y ambientales de trabajo. Por ejemplo motores que trabajan bajo condiciones ambientales de calor, humedad y polvo

requieren actividades de mantenimiento con mayor frecuencia para mantener las condiciones físicas óptimas y adicionalmente algunas veces es necesario aislar el motor de las condiciones extremas o implementar un sistema de ventilación para enfriamiento adicional.

Por otra parte, la información de los equipos es muy importante en el mantenimiento, por lo que es recomendable que cuente con hojas de vida de los equipos que contenga información específica de cada motor como por ejemplo:

- Modelo, marca y número de serie.
- Especificaciones de corriente y voltaje.
- Eficiencia nominal, temperatura de operación, tipo de aislamiento.
- Velocidad nominal, potencia, etc.
- También debe contener información de la carga a la cual esta acoplado el motor.
- Datos históricos de variables operativas (corrientes, voltaje, temperaturas, velocidad real, etc.).

Esta información será muy útil al momento de evaluar el desempeño de los equipos desde el punto de vista del consumo energético. En el sistema operativo SAP, se ingresa parte de esta información y se va adicionar toda la anterior.

Harinera del Valle normalmente envía todos sus motores eléctricos para mantenimiento o reparación a talleres externos, internamente hay unos pasos que se siguen para poder enviar este motor al taller externo, ya en el taller se definen otros pasos, pero bajo los lineamientos de Harinera del valle.

Dada las condiciones operativas y el tipo de proceso realizado en harinera es común encontrar en los motores material particulado derivado de los diferentes ciclos de acondicionamiento que se realizan al producto, lo cual hace necesario tener procedimientos rigurosos en cuanto a:

8.1.1 Limpieza. El polvo, la suciedad y la corrosión, residuos harinosos del proceso interno de la empresa, pueden dañar el motor de tres formas. Puede atacar el aislamiento eléctrico por abrasión o absorción en el aislamiento, puede contaminar lubricantes y puede destrozar rodamientos.

Un motor limpio trabaja más frío. La suciedad se acumula en las aperturas o ranuras externas del motor refrigerado por ventilador. Esto reduce el caudal de aire y se incrementa la temperatura de operación del motor. Esto es

especialmente crítico para los motores totalmente encapsulados ya que todo el enfriamiento tiene lugar en la superficie exterior.

La suciedad de superficie puede quitarse por varios medios, dependiendo de su composición. El aire comprimido (máximo 30 psi), limpieza por vacío y limpieza directa con trapos o cepillos, se debe realizar como mínimo una vez al mes, dependiendo del área, en Harinera se realiza cada mes.

El interior del motor es más difícil retirar. Es mejor prevenir que la suciedad entre en el motor. Un motor completamente cerrado ayuda en este aspecto, pero el polvo fino puede invadir y destrozar incluso un motor a prueba de explosión. Algunos grandes motores pueden disponer de filtros en los pasajes de aire de ventilación para mantener fuera la suciedad¹⁵.

8.1.2 Lubricación. La lubricación en Harinera se realiza cada fin de mes en las paradas de producción, se toma como modelo los manuales de fabricante y se cumple de acuerdo a estos, hay algunos equipos que no poseen manual, porque son muy antiguos y se han implementado planes mensuales, trimestrales o semestrales los cuales se evalúan, para determinar si son viables.

Muchos motores pequeños tienen los rodamientos sellados y no requieren lubricación. Los demás requieren lubricación. La lubricación es más un arte que una ciencia.

Inicialmente se seguirán las recomendaciones de los fabricantes del motor. Eventualmente, con algo de experimentación y análisis de registros bien mantenidos, pueden descubrirse que un tipo diferente de lubricantes o intervalos de lubricación son mejores.

Los intervalos de lubricación típicos varían de menos de tres meses (para motores más grandes sujetos a vibración, cargas de rodamientos severas, o altas temperaturas) hasta cinco años para motores integrales con uso intermedio.

Uno no puede ser simplemente conservador y sobre-lubricar. La lubricación inapropiada acorta la vida de las máquinas. La re-lubricación con diferentes grasas puede causar fallos en rodamientos cuando se mezclan dos grasas incompatibles. Añadir demasiada grasa o engrasar frecuentemente puede forzar a la grasa a pasar las carcasas de los rodamientos o sellos y entrar en el motor, resultando

¹⁵ Mantenimiento efectivo. Óp. cit., Disponible en internet: <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/12/eficiencia-energetica-mediante-el.html>.

daños en el bobinado. Simplemente tener demasiada grasa puede provocar fallos por sobre-lubricación¹⁶.

8.1.3 El montaje. Un montaje inadecuado puede resultar en serios problemas de mantenimiento. La estructura debe ser rígida con una superficie coplanar para las cuatro patas de montaje. Lo mismo se aplica a la estructura para montar la carga. Lo mismo se aplica a la estructura montando la carga. Ambos motores y estructuras de cargas deben unirse rígidamente al suelo o estructura común. Fallar en proporcionar un montaje sólido puede llevar a provocar vibración o deflexión que origine el fallo del rodamiento. Los motores verticales pueden incluso ser más demandados que los horizontales porque el círculo de montaje constituye una pequeña bancada para una gran masa en cantiléver colocada arriba. La flexibilidad en la estructura de montaje puede exacerbar las vibraciones de baja frecuencia a las cuales los motores son vulnerables. Los tornillos deben controlarse visualmente buscando indicios de grietas.

El alineamiento de acoplamientos a menudo se promueve por eficiencia energética. La pérdida de energía en acoplamientos es a veces pasada por alto, pero el alineamiento apropiado siempre es importante para la vida de acoplamientos y rodaduras. Un ligero desalineamiento puede incrementar dramáticamente la carga lateral en los rodamientos. También puede acortar la vida de los acoplamientos. Algunas fuentes atribuyen el 40 – 80 % de los fallos de rodamientos y sellos a problemas de desalineamiento.

El alineamiento significa que el eje de gravedad del motor y eje de carga coinciden. Si son paralelos, pero no coinciden, se trata de un desalineamiento en paralelo. Si el eje central no es paralelo sino que confluye hacia el interior del acoplamiento, es un desalineamiento angular. En algunos casos el desalineamiento se produce en ambas situaciones, es un desalineamiento angular en ambos aspectos.

El desalineamiento es usualmente el resultado de errores en instalación. Sin embargo, la desalineación a veces se desarrolla después de la instalación. Esto puede ocurrir si la estructura de montaje no es completamente rígida, si la vibración o impacto causa algún deslizamiento, o si las juntas originales se ensucian o doblan¹⁷.

¹⁶ Ibíd., Disponible en internet: <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/12/eficiencia-energetica-mediante-el.html>.

¹⁷ Ibíd., Disponible en internet: <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/12/eficiencia-energetica-mediante-el.html>.

8.2 PROCESO INTERNO (HARINERA DEL VALLE) ENVÍO DE MOTORES A REPARACIÓN

- Aviso de mantenimiento con reporte de falla en determinado equipo
- Revisión de aviso y convertir en una orden de mantenimiento
- Técnico revisa la falla y determina si es en el motor eléctrico
- Desmontar motor para enviar a taller externo
- Montaje de motor de repuesto
- Llamar taller externo (M&M, IME, Confecciones eléctricas)
- Realizar remisión de salida para entregar motor
- Datos de motor en remisión
- Definir tiempo de entrega
- Definir si es urgente o no
- Entrega del equipo con reporte de falla al taller externo

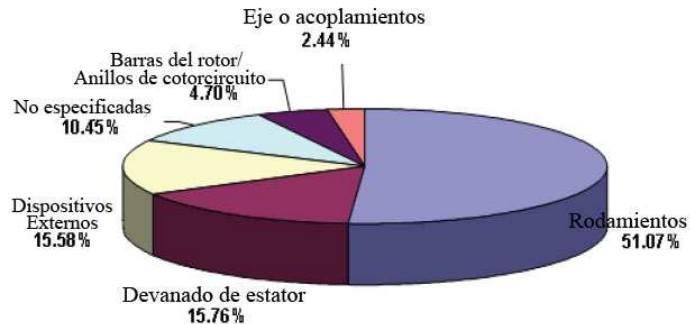
Recomendaciones a talleres externos para la reparación numeral 8.2.1 y 8.2.2.

8.2.1 Recomendaciones para reparación eficiente de motores eléctricos. La idea de que motores que han sido reparados y rebobinados pierden eficiencia ha sido discutida por años. En algunos estudios sobre rebobinado hechos alrededor del mundo se ha encontrado que reparar y rebobinar los motores muestra cifras de pérdidas de hasta el 6%. Se observa que la calidad general del taller de reparación sus procedimientos de mantenimiento, los materiales que emplean, el equipo usado y contar con un personal calificado es de gran importancia para que el motor pueda ser reparado exitosamente¹⁸.

A continuación se presentan algunas de las fallas más frecuentes en los motores utilizados en la industria, ver Figura 20.

¹⁸VIDAL ROSAS, Ernesto Elías. Diagnóstico y Reconfiguración de fallas en el motor de inducción utilizando observadores no lineales [en línea]. Tesis de grado. Maestro en Ciencias de Ingeniería Electrónica. México: CENIDET, enero de 2006 [consultado enero de 2011]. Disponible en Internet: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/180MC_eevr.pdf.

Figura 20. Distribución de las fallas en los motores



Fuente: Disponible en Internet: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/180MC_eevr.pdf.

Estas fallas conducen al daño del motor afectan los devanados, rotores, rodamientos y ejes, las mismas se encuentran asociadas a:

- Ambientales
- Térmicas
- Eléctricas
- Mecánicas
- Vibración/Impactos

Ambientales: la falta de mantenimiento e inspección de los motores en su ambiente de trabajo puede conducir a mala ventilación, alta temperatura, humedad, materiales extraños (en rodamientos), corrosión y erosión

Térmicas: sobre carga, variación y desbalance de voltaje, ambiente, envejecimiento térmico, ventilación, oscilaciones cortas fricción (lubricación) y puntos calientes.

Eléctricas: desbalance en el voltaje de fase, transitorios de voltaje, pérdidas de fases, y problemas en la calidad de la potencia tales como THD.. Los motores por lo tanto no deberían operar bajo desbalances de voltaje mayores del 1%.

Mecánicos: proceso de carga del motor (carga por tensión o axial sobre el eje), desalineación (conduce a fallas de los rodamientos), cuerpos extraños en el ambiente, movimiento de las bobinas y laminaciones sueltas.

Vibraciones / impactos: la vibración (causada por una pobre tensión en la correa y desalineación) es la principal causa que conduce a muchas de las fallas mencionadas. Este estrés puede ser una interminable causa de problemas si los motores no se ajustan y aseguran apropiadamente.

El procedimiento junto con la mano de obra de un taller de reparación desempeña un papel importante en la condición del motor reparado, existen numerosas normas y procedimientos internacionales y locales que son seguidos por los talleres de reparación y rebobinado, una de las más importantes la Asociación de Mantenimiento de Aparatos Eléctricos (EASA) “Una guía para la reparación y el reemplazo de motores CA”

En el cuadro 30 a continuación, es una lista de los diferentes efectos que pueden presentarse durante un proceso de reparación y rebobinado. El más severo de todos es el impacto de remover el devanado de estator del núcleo¹⁹.

Cuadro 200. Lista de efectos durante el proceso de reparación y rebobinado

Pérdida en el motor	Afectada por
Pérdidas en el núcleo del estator	Sobrecalentamiento del acero del núcleo al removerle los conductores Daño del aislamiento del núcleo al remover el devanado Abrasión y limadura excesivas durante la limpieza del núcleo
Pérdidas por fricción y rozamiento con aire	Los rodamientos y el ventilador de enfriamiento no son reemplazados a las condiciones originales Ajustes incorrectos de los rodamientos Carga previa incorrecta de los rodamientos Poca/excesiva lubricación

¹⁹ Ibíd., Disponible en Internet: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/180MC_eevr.pdf.

Cuadro 30. (Continuación).

Pérdida en el motor	Afectada por
Pérdidas en devanado de estator (pérdidas I^2R)	Reducción del área transversal del conductor Cambio en el número de espiras Uso de una configuración errada del devanado Manipular mecánicamente el rotor
Pérdidas en devanado de rotor (pérdidas I^2R)	Alteración de las barras del rotor y anillos de cortocircuito Cambio en el diseño de la jaula
Pérdidas adicionales en carga	Cambio en la simetría del entrehierro y comportamiento no convencional del entrehierro Eje del motor doblado o tapas laterales dañadas Todos los factores anteriores también afectan estas pérdidas

Fuente:]. Disponible en Internet: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/180MC_eevr.pdf.

El proceso de rebobinado comienza con la remoción de los devanados de estator viejos. Este proceso se hace de forma diferente dependiendo del taller de reparación y rebobinado.

- Horneado del núcleo en un horno
- Limpieza del núcleo con calor usando una flama directa o un soplete

Horneado en un horno: sobrecalentando el núcleo puede llevar a daño en el aislamiento entre láminas y esto conduce a un incremento en las pérdidas magnéticas y eléctricas. La EASA sugiere, aplicar una temperatura en el horno de 343 °C, y no sobrecalentar el núcleo del estator por encima de los 360 °C.

Flama directa (soplete): una flama directa tiene el mismo efecto dañino sobre el núcleo. La alta temperatura de los sopletes puede conducir al daño del aislamiento entre láminas e incluso crear puntos caliente sobre el núcleo.

Las pruebas en el núcleo han probado ser muy efectivas al detectar daños en el núcleo (durante y después de la reparación) tales como laminaciones en corto. La prueba involucra crear un flujo usando una bobina monofásica y buscando puntos calientes.

El reemplazo de componentes mecánicos, reensamblaje (rodamientos del tamaño correcto, lubricación, y pintura) y las pruebas finales (tales como pruebas de alto voltaje, balance de corriente en vacío, potencia de entrada en vacío, temperatura de los rodamientos y ruido) son los procesos finales. Las pruebas de eficiencia del motor reparado no siempre se hacen a menos que el cliente lo pida.

Los estudios muestran que el rebobinado del motor mediante técnicas inadecuadas reduce la eficiencia del motor entre 2 % a 4%. En este sentido es preciso exigir que los motores sean rebobinados usando técnicas que permitan mantener o mejorar la eficiencia del motor reparado²⁰.

Entre las técnicas usadas para conservar la eficiencia del motor es usar un Horno de Pirolisis, el que permite someter al bobinado a una temperatura controlada de 350 y así poder retirar el bobinado del núcleo sin dañar las láminas del núcleo magnético. También es importante es que el número de vueltas y el calibre no cambie y que la longitud de las bobinas no aumente, para esto es importante que se mida la longitud de las cabezas de bobina y esta se mantenga luego del rebobinado. Con esto se asegura que la resistencia del bobinado no varíe y las pérdidas en los conductores del estator se mantengas inalterables. Si es posible se recomienda aumentar el calibre y disminuir la longitud de las bobinas esto ayudará a disminuir las pérdidas en los conductores del estator. Todo lo anterior es para que el taller externo lo tenga en cuenta y lo aplique en el momento de recibir un motor de Harinera del Valle.

8.2.2 Remplazando los motores en lugar de bobinarlos. Cuando un motor falla y debe ser reparado es importante determinar si se repara o reemplaza por un motor de alta eficiencia. La eficiencia del motor cae en cada reparación, si esta es inadecuada, por lo que es importante conocer la eficiencia del motor fallado. Para analizar si el motor se reemplaza se recomiendan los siguientes criterios:

- La condición y la edad del motor.
- Historia de la operación del motor y los rebobinados.
- El tipo del motor y de la aplicación.
- El potencial ahorro de energía que puede lograrse.
- Evaluar costo de reparación y costo motor nuevo alta eficiencia.

²⁰ Ibíd., Disponible en Internet: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/180MC_eevr.pdf.

Las recomendaciones anteriores y los pasos que siguen son de obligatorio cumplimiento para el taller externo.

8.3 PROCESO EXTERNO, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO (TALLER MOTORES ELÉCTRICOS)

- Recepción e identificación del equipo
- Inspección inicial y asignación a operario encargado
- Pruebas iniciales eléctricas de laboratorio (Baker y Megger)
- Desarmar equipo para verificar estado mecánico
- Lavado del equipo, limpiador eléctrico
- Cotización previa para enviar a empresa (Harinera del valle)
- Enviar cotización para aprobación por parte de la empresa
- Determinar si el costo de reparación es mayor al 50% del costo de uno nuevo
- Si es más alto se determina comprar nuevo, si es menor se repara. Numeral 8.2.1. página 92.
- Informar a la empresa (Harinera del valle)
- Con la aprobación de reparación se inicia la misma
- Es mantenimiento eléctrico o mecánico
- Mantenimiento mecánico:
 - Marcación de todos los componentes previo desarme
 - Revisión micrométrica de ajustes
 - Metalización de escudos y ejes
 - Fabricación de piezas
 - Pintura interior
- Balanceo dinámico a rotores (si aplica)
- Ensamble, según marcación de inicio
- Pruebas finales de laboratorio, (análisis de vibración)
- Pintura general externa
- Inspección final del equipo
- Entrega del equipo al cliente
- Mantenimiento Eléctrico
 - Motor quemado es para bobinado
 - Verificación de conexiones de bornera
 - Identificar voltaje de operación o trabajo
 - Toma de datos para motores trifásico y monofásicos

- Horno Pirolisis 350 grados, de numeral 5.2.2
- Cortada de corona
- Extracción de alambre
- Solicitud de materiales al almacén
- Limpieza y pruebas de núcleo
- Pintura interior de núcleo
- Clasificación y corte de fibra
- Enfibrado de ranura
- Fabricación de bobina
- Introducción de bobinas(bobinar)
- Amarres lado opuesto
- Conexiones
- Amarre de conexión
- Bajar cuñas o introducir cuña de madera
- Prueba de aislamiento HIPOT e impulso de bobinado a tensión reducida
- Curado y barnizado
- Horneado o secado
- Limpieza de barniz y montaje de bornera
- Conexión de bornera según voltaje inicial de llegada
- Pruebas eléctricas finales de funcionamiento
- Levantar protocolo de pruebas
- Entrega de equipo a la empresa.
- Pruebas de funcionamiento en Harinera del Valle.
- Recepción del equipo.

8.3.1 Reparar o reemplazar. Los expertos de mantenimiento de hoy en día tienen herramientas a su disposición que son muy superiores, por ejemplo, alineación con láser, mejores lubricantes, análisis de vibración.

Las prácticas de mantenimiento han mejorado mucho. Cada una de estas mejoras ha incrementado la vida de la maquinaria rotatoria. Por ejemplo, los métodos de alineación han progresado desde un operario con regla hasta herramientas computarizadas de alineación mediante láser.

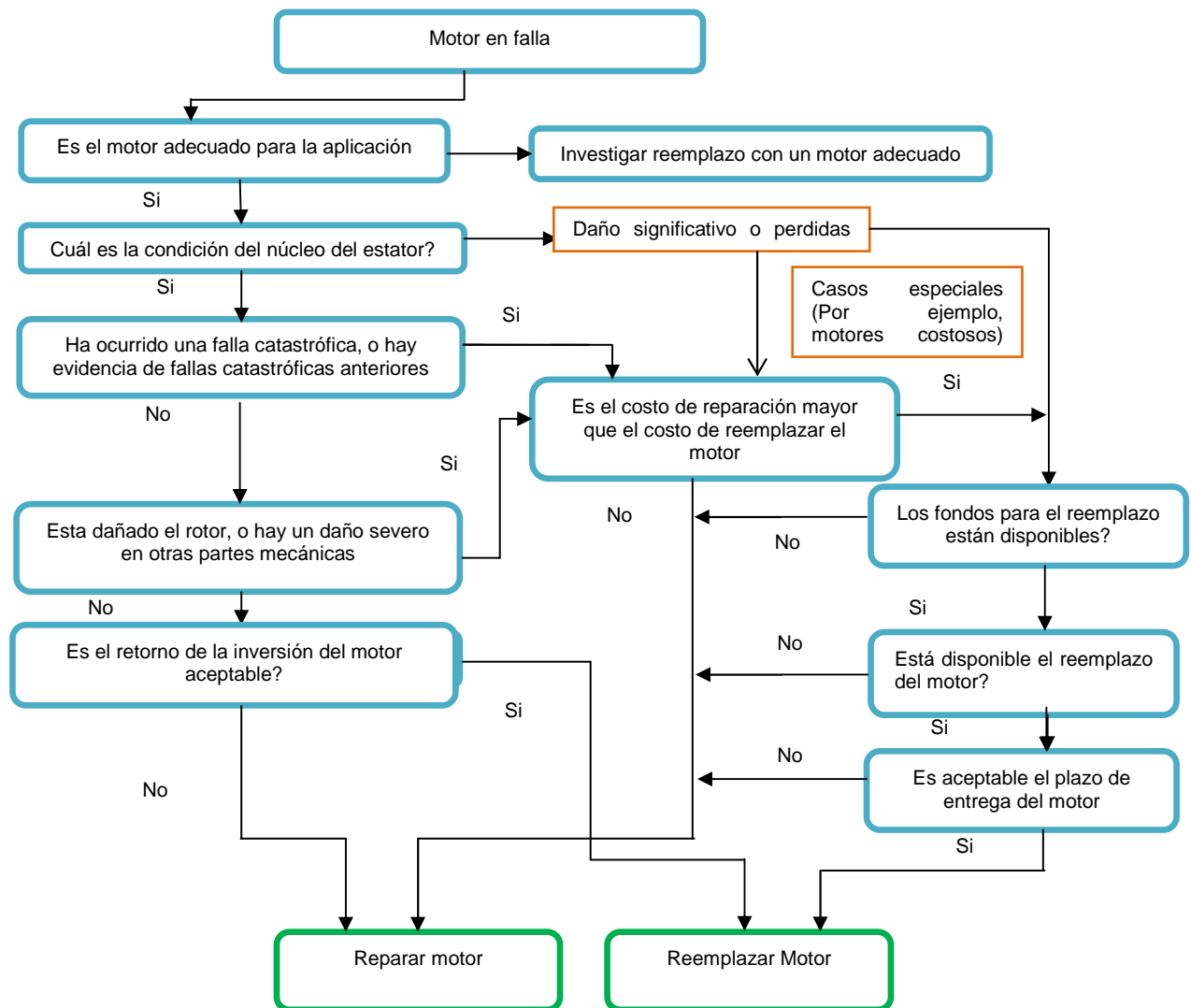
Las prácticas de lubricación incluyen dispositivos automáticos para medir el lubricante con un ritmo estable, en comparación de la incertidumbre que representa un técnico con una pistola engrasadora que podría o no contener la

grasa correcta. Los lubricantes han sido mejorados desde numerosas bases de grasa hasta una grasa mejorada basada en poliuretano que varios fabricantes de motores han adoptado como su grasa estándar.

El análisis de vibraciones utiliza un análisis de transformada rápida de fourier con la habilidad para evaluar el espectro de frecuencia completo.

La confiabilidad, así como la eficiencia, deberían afectar una decisión debidamente informada sobre reparar o reemplazar. La comparación directa del tamaño de los rodamientos instalados en las máquinas no siempre es práctica, pero podría ofrecer la mejor característica para predecir la confiabilidad. El conocimiento de que la mayoría de fallas en los motores es atribuible al sistema de rodamiento implica que se podría esperar una mayor confiabilidad del motor alta eficiencia, que de un motor estándar suministrado con rodamientos más pequeños. El flujograma siguiente, figura 21, nos indica el procedimiento que se debe seguir para realizar reparación o reemplazo de motor.

Figura 21. Flujograma reparación o reemplazo de un motor en falla



Fuente: El autor, archivo de computador.

La Estimación de los ahorros correspondientes al mantenimiento de la eficiencia óptima de un motor eléctrico son realmente los costos de consumo de energía que no son tenidos en cuenta, según estimaciones realizadas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (DOE)²¹, la eficiencia de equipos mecánicos en general puede ser incrementada entre un 10% a 15% debido a un adecuado programa de mantenimiento.

²¹Ibíd., Disponible en internet: http://energia.gob.pa/pdf_doc/estrategia_dise%C3%B1o.pdf,

9. CONCLUSIONES

Los motores eléctricos son de suma importancia en la actualidad, debido a la gran variedad de aplicaciones industriales a los que son sometidos, es por ellos, que se deben tener en cuenta todas las fallas que se presentan para optimizar el funcionamiento de los mismos, y lo más importante la eficiencia del equipo nos aumenta.

En la primera parte se mostró el estado actual de la gestión de motores eléctricos en planta de producción de pastas, la recopilación de información se canalizo a través del departamento de mantenimiento, quien es el encargado del mantenimiento de los equipos. Se identificaron aspectos en la estructura organizacional del departamento de mantenimiento, con su sistema de información SAP, a través del cual se maneja toda la información de la compañía. El departamento posee una parte administrativa quienes coordinan las actividades, y un grupo de técnicos eléctricos y mecánicos los cuales ejecutan la parte operativa de la gestión de motores.

Para la segunda parte se realizó un análisis y evaluación del estado de gestión de motores en la empresa, analizando los procesos y evaluando todo el proceso interno.

Los resultados muestran que no se posee un plan adecuado para seleccionar la potencia en los motores, y adicional no hay un seguimiento de la eficiencia de los motores eléctricos.

La planta posee motores muy antiguos con más de 15 años de funcionamiento, su eficiencia no aparece en placa y los datos que se han manejaron para los estudios, se tomaron con base a la marca y año de fabricación, El 37 % de la capacidad instalada por concepto de motores eléctricos se encuentra en las líneas de producción de pastas, en la cual se da prioridad de trabajo, seguido de Molino Trigo y Maíz

En la tercera y cuarta parte se levantó información con datos de equipos y se realizaron mediciones en sitio, se trabajó con base a los diagramas de pareto realizados en el punto anterior, aquí se elaboró un listado de motores de mayor consumo de la fábrica de pastas con los diferentes datos que se tomaron, a partir

de esta información, pasamos a la evaluación y estimación de potenciales de ahorro.

Se realizaron estudios y cálculos para los siguientes potenciales de ahorro:

Sustitución de motores estándar por los de alta eficiencia, cálculo de ahorro.
Evaluación del factor de carga y cálculo de ahorro
Implementación de variadores de velocidad y cálculo de ahorro
Estimación de la eficiencia en motores y cálculo de ahorro

En los 4 casos de estudio siempre se tiene ahorros considerables a evaluar y efectuar.

Cabe, recalcar como conclusión en esta parte que todos los motores de baja eficiencia candidatos a ser sustituidos deben tener un factor de carga del 75 % en adelante de lo contrario no sería viablemente económico el cambio de motor

En el capítulo seis se exponen propuestas para un manejo eficiente en los motores como el diseño de un formato para llevar la hoja de vida de los motores; un listado para realizar seguimiento de eficiencia y cargabilidad del motor y una ruta de mediciones. Posteriormente se listan una serie de aspectos para realizar mantenimiento y gestión eficiente en los motores. Importante concluir en este capítulo es la decisión de compra de un motor de alta eficiencia donde se debe valorar la rentabilidad económica con respecto al tiempo de amortización considerar que tal motor posea un valor medio de carga mayor del 75 % y que la eficiencia entre el motor antiguo y el nuevo este entre un 3 y un 5 % en adelante. Y por último que el periodo de amortización de la inversión sea de 3 años, teniendo en cuenta que este análisis debe realizarse a motores entre 12 y 75 hp cuando operan 2500 horas anuales y los motores de potencias distintas a las anteriores cuando operan 4500 horas o más.

Se resume la gestión de motores a través de un diagrama de flujo, producto de la evaluación que se realizó en el transcurso del trabajo, un motor cuando trabaja por encima de sus valores nominales, va disminuyendo su periodo de vida, Un plan de mantenimiento debe realizarse tomando en cuentas las fallas que están ocurriendo en los motores.

Las mediciones de eficiencia y factor de carga, son una gran herramienta a implementar en la empresa, para determinar el estado actual del motor y su

tiempo de vida y de utilidad para la empresa, también para saber en qué momento se debe reemplazar.

El resultado de este trabajo es presentar las oportunidades de ahorro energético a través de una buena gestión de motores eléctricos.

La mejor forma de rentabilidad de los motores, es la eficiencia, la cual a partir de este momento se va a implementar, para generar más ganancia en Kilowatios y estos equivalen a pesos que se ahorran.

El mantenimiento de equipos, infraestructuras, herramientas, maquinaria, etc. representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario a quien esta inversión se le revertirá en mejoras en su producción.

El mantenimiento representa un arma importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. También el mantener las áreas y ambientes de trabajo con adecuado orden, limpieza, iluminación, etc. es parte del mantenimiento preventivo de los sitios de trabajo.

El mantenimiento no sólo debe ser realizado por el departamento encargado de esto. El trabajador debe ser concientizado a mantener en buenas condiciones los equipos, herramienta, maquinarias, esto permitirá mayor responsabilidad del trabajador y prevención de accidentes.

10. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados de estudio de cargabilidad de las mediciones a continuación se presentan algunas recomendaciones:

- Implementar un plan estratégico para realizar seguimiento de la eficiencia de los equipos.
- Aplicar métodos para hallar la potencia adecuada de los equipos
- Se recomienda realizar un plan de medidas para recoger información necesaria para realizar los cálculos de eficiencia en los equipos, o adquirir un equipo sofisticado que permita medir la eficiencia de los motores eléctricos.
- Almacenar toda la información de los motores incluyendo la eficiencia en una base de datos que permita monitorear el estado de los motores.
- Evaluar la posibilidad de utilizar variadores de velocidad en los ventiladores para mejorar el rendimiento de estos equipos y quitar el sistema de variación de flujo de aire por dámetros.
- Planear la sustitución de todos los motores de eficiencia estándar por los de alta eficiencia, teniendo en cuenta los métodos para hallar la potencia adecuada.
- Se recomienda un cambio tecnológico en cuanto a sustitución de motores con eficiencias deficientes y cuyo factor de carga supere el 75%.

BIBLIOGRAFÍA

CHAPMAN. S. J. Maquinas eléctricas: elección de la potencia de los motores eléctricos y los diagramas de carga. México DF: McGraw-Hill, 1998. 249 p.

DEL ROSARIO, Raúl. Ahorro de energía en el uso de los Motores Eléctricos. 10 de junio, 2002

Dirección nacional de agroindustria en base a informacion de profesional de pasta, ABIMA y empresas del sector [en línea]. Argentina: Alimentos Argentinos, s.f. [consultado enero de 2011]. Disponible en internet: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r_46/cadenas/Farinaceos_Pastas_alimenticias.htm.

Eficiencia energética en motores eléctricos, Barcelona, 16 de diciembre de 2009. Energylab, centro tecnológico de eficiencia y sostenibilidad energética. Grupo de gestores energéticos. Cesar Barreira Pazos. Cesar.barreira@energylab.es

GERS. Estudio cargabilidad. Cali, enero 2011. 1 archivo de computador.

Guía de motores [en línea]. Corpoema.net, s.f. [consultado enero de 2011]. Disponible en internet: <http://www.corpoema.net/Informacion%20FNCE/Eficiencia/Guia%20URE%20motores.pdf>.

HARINERA DEL VALLE. Sistema operativo SAP. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

HT. PQA 400 – PQA 823 – PQA 824. Manual de instrucciones [en línea]. Italia: Htitalia, s.f. [consultado diciembre de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.htitalia.com>.

IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Standard 112-2004, Nov. 2004.

_____. Power Engineering Society. IEEE std 112tm-2004. IEEE standard test procedure for polyphase induction motors and generators. Estados Unidos, 2004.

Incremento en la eficiencia versus incremento en la confiabilidad. Comparación de los motores pre – EPAct, EPAct, y de eficiencia Premium. 1992

INSTITUTO COLOMBIA DE NORMAS TÉCNICAS. Calidad de la potencia eléctrica – CPE – Definiciones y términos fundamentales. NTC 5000. Bogotá: ICONTEC, 18 de septiembre de 2002.

ISB. Variador Danfoss. Informe servicio. Cali, 2011. 1 archivo de computador.

IV taller nacional “Promoviendo un sector publico energéticamente eficiente: acciones locales que mueven al país”. Ing. Javier Ortega Solís.2004.

Linders J. Effects of Power Supply Variations on AC Motor Characteristics.IEEE. Transactions on Industry Applications, Vol 1A-8, No.4, July-August 1972.

Mantenimiento efectivo [en línea]. Colombia: Todo productividad, 2009 [consultado enero de 2011]. Disponible en internet: <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/12/eficiencia-energetica-mediante-el.html>.

Motor fijo [en línea]. Colombia: Tenicsuport, s.f. [consultado enero de 2011]. Disponible en Internet: <http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/reactiva/motorfija/motorfija.htm>.

PERCY R. Viego Felipe. Herramientas para el uso eficiente de motores de inducción en la industria. Santiago de Cali, febrero 2008. 20 p.

Racional de la Energía (URE). Eficiencia energética en motores eléctricos [en línea]. Colombia: UPME, 2010 [consultado marzo de 2010]. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf>.

_____. Mantenimiento en la Gestión Energética [en línea]. Colombia: UPME, 2010 [consultado marzo de 2010]. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Default.aspx?tabid=75>.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. UPME. y COLCIENCIAS. Documentos Uso Racional de la Energía (URE). Mantenimiento en la Gestión Energética [en línea]. Colombia: UPME, 2010 [consultado marzo de 2010]. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Default.aspx?tabid=75>.

_____. _____. Documentos Uso Racional de la Energía (URE). Eficiencia energética en motores eléctricos [en línea]. Colombia: UPME, 2010 [consultado marzo de 2010]. Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf>.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE. Gestión energética de motores. Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2009. 1 archivo de computador.

_____. UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO. Grupo de Investigación GIEN y Grupo de Investigación KAI. Software desarrollado EEME. Cali, 2007. 1 archivo de computador.

VIDAL ROSAS, Ernesto Elías. Diagnóstico y Reconfiguración de fallas en el motor de inducción utilizando observadores no lineales [en línea]. Tesis de grado. Maestro en Ciencias de Ingeniería Electrónica. México: CENIDET, enero de 2006 [consultado enero de 2011]. Disponible en Internet: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/180MC_eevr.pdf.